

**PENGARUH PENAMBAHAN SERABUT KELAPA TERHADAP  
KARAKTERISTIK MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL PORUS**

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD FAHRUS SYAVIQ      NIM. 135060100111041**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
RINGKASAN .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA .....	5
2.1 Aspal Porus.....	5
2.1.1 Kelebihan dan Kekurangan .....	6
2.1.2 Gradasi Aspal Porus .....	6
2.1.3 Pemakaian Aspal Porus .....	12
2.2 Agregat .....	14
2.2.1 Jenis – Jenis Agregat .....	14
2.2.2 Agregat Kasar.....	15
2.2.3 Agregat Halus.....	16
2.2.4 Filler .....	17
2.3 Serabut Kelapa.....	18
2.3.1 Komposisi Serat Sabut Kelapa .....	18
2.1.4 Studi Terdahulu .....	19
2.4 Aspal .....	21
2.4.1 Klasifikasi Aspal .....	20
2.5 Campuran Aspal Panas (Hot Mix Asphalt) .....	23
2.6 Formula Perhitungan .....	26
2.7 Anova Dua Arah (Tw-Ways Anova).....	32
2.8 Uji Duncan (DMRT) .....	33
2.9 Hasil Studi Terdahulu .....	34
2.10 Hasil Uji Pendahuluan .....	38

BAB III METODE PENELITIAN .....	41
3.1 Diagram Alir Peneltian .....	41
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	42
3.3 Rancangan Penelitian.....	43
3.4 Bahan-Bahan Penelitian.....	44
3.5 Pengujian Material .....	45
3.6 Pembuatan Benda Uji .....	46
3.7 Pengujian Permeabilitas.....	50
3.8 Pengujian Marshall Standar .....	51
3.9 Pengolahan Data .....	52
3.9.1 Analisis Data .....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
4.1 Pengujian Material .....	53
4.1.1 Pengujian Karakteristik Aspal .....	53
4.1.2 Pengujian Karakteristik Agregat .....	54
4.2 Pembuatan Benda Uji .....	55
4.2.1 Hasil Pengujian <i>Void In Mixture</i> (VIM).....	56
4.2.2 Hasil Pengujian <i>Flow</i> .....	56
4.2.3 Hasil Pengujian Stabilitas.....	57
4.2.4 Hasil Pengujian Marshall Quotient (MQ) .....	57
4.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dan Kadar Serabut Kelapa Optimum.....	57
4.4 Analisa Statistik Pengaruh Serabut Kelapa Terhadap Campuran Aspal Porus .....	70
4.5 Pembahasan .....	80
4.5.1 Pengaruh Serabut Kelapa Terhadap Nilai Karakteristik <i>Marshall</i> .....	80
4.6 Permeabilitas.....	81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	82
DAFTAR PUSTAKA.....	84

## DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
<b>Tabel 2.1</b>	Gradasi Agregat Aspal Porus .....	7
<b>Tabel 2.2</b>	Gradasi Aspal Porus Standar California.....	7
<b>Tabel 2.3</b>	Gradasi Aspal Porus Standar Australia .....	8
<b>Tabel 2.4</b>	Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British .....	10
<b>Tabel 2.5</b>	Tabel Gradasi Aspal Porus .....	11
<b>Tabel 2.6</b>	Komposisi Agregat Kasar.....	15
<b>Tabel 2.7</b>	Ketentuan Agregat Kasar .....	15
<b>Tabel 2.8</b>	Komposisi Agregat Halus.....	16
<b>Tabel 2.9</b>	Ketentuan Agregat Halus .....	16
<b>Tabel 2.10</b>	Komposisi Agregat Halus (AASHTO 29-70) .....	17
<b>Tabel 2.11</b>	Komposisi Agregat Halus (AASHTO 29-70) ( <i>lanjutan</i> ) .....	17
<b>Tabel 2.12</b>	Komposisi Agregat Halus Aspal Porus Standar Australia .....	17
<b>Tabel 2.13</b>	Ukuran Saringan dan Persentase Berat Lolosnya.....	18
<b>Tabel 2.14</b>	Komposisi Serat Sabut Kelapa .....	19
<b>Tabel 2.15</b>	Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70 .....	20
<b>Tabel 2.16</b>	Ketentuan Viskositas dan Temperatur Aspal untuk Pencampuran dan Pematatan. ....	22
<b>Tabel 2.17</b>	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi .....	23
<b>Tabel 2.18</b>	Hasil Studi Terdahulu.....	35
<b>Tabel 2.19</b>	Hasil Uji Pendahuluan.....	38
<b>Tabel 3.1</b>	Jumlah Benda Uji .....	44
<b>Tabel 3.2</b>	Rancangan Gradasi Aspal Porus Standar Australia.....	46
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70.....	53
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar Batu Pecah .....	54
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus Batu Pecah .....	54
<b>Tabel 4.4</b>	Rancangan Pembuatan Benda Uji .....	55
<b>Tabel 4.5</b>	Nilai VIM (%) .....	56
<b>Tabel 4.6</b>	Nilai <i>Flow</i> (mm).....	56
<b>Tabel 4.7</b>	Nilai Stabilitas (kg).....	57
<b>Tabel 4.8</b>	Nilai MQ (kg/mm).....	57
<b>Tabel 4.9</b>	Hasil Nilai Karakteristik <i>Marshall</i> Australia dengan KAO 4.35% dan Kadar Serabut Kelapa Optimum 0,5% .....	65
<b>Tabel 4.10</b>	Rekap Hasil Karakteristik <i>Marshall</i> .....	65

<b>Tabel 4.11</b> Hasil Nilai VIM menggunakan Metode Grafik 3D .....	66
<b>Tabel 4.12</b> Hasil Nilai <i>Flow</i> menggunakan Metode Grafik 3D.....	67
<b>Tabel 4.13</b> Hasil Nilai Stabilitas menggunakan Metode Grafik 3D .....	68
<b>Tabel 4.14</b> Hasil Nilai MQ menggunakan Metode Grafik 3D .....	69
<b>Tabel 4.15</b> Rekapitulasi Hasil Iterasi Grafik 3D Karakteristik <i>Marshall</i> .....	70
<b>Tabel 4.16</b> Rekapitulasi Kadar Aspal Optimum, Kadar Serabut Kelapa Optimum .....	70
<b>Tabel 4.17</b> Uji Pengaruh Antar Parameter untuk VIM .....	71
<b>Tabel 4.18</b> Uji Duncan VIM Kadar Aspal .....	72
<b>Tabel 4.19</b> Uji Duncan VIM Kadar Serabut Kelapa.....	72
<b>Tabel 4.20</b> Uji Duncan VIM Interaksi Antara Kadar Aspal dengan Kadar Serabut Kelapa ....	73
<b>Tabel 4.21</b> Uji Pengaruh Antar Parameter untuk Stabilitas .....	73
<b>Tabel 4.22</b> Uji Duncan Stabilitas Kadar Aspal .....	74
<b>Tabel 4.23</b> Uji Duncan Stabilitas Kadar Serabut Kelapa.....	74
<b>Tabel 4.24</b> Uji Duncan Stabilitas Interaksi Antara Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa...	75
<b>Tabel 4.25</b> Uji Pengaruh Antar Parameter untuk <i>Flow</i> .....	75
<b>Tabel 4.26</b> Uji Duncan <i>Flow</i> Kadar Aspal.....	76
<b>Tabel 4.27</b> Uji Duncan <i>Flow</i> Kadar Serabut Kelapa .....	76
<b>Tabel 4.28</b> Uji Duncan <i>Flow</i> Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa .....	77
<b>Tabel 4.29</b> Uji Pengaruh Antar Parameter untuk MQ .....	77
<b>Tabel 4.30</b> Uji Duncan MQ Kadar Aspal .....	78
<b>Tabel 4.31</b> Uji Duncan MQ Kadar Serabut Kelapa .....	78
<b>Tabel 4.32</b> Uji Duncan Interaksi MQ Antara Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa.....	79
<b>Tabel 4.33</b> Rekapitulasi Analisis Statistik ANOVA Dua Arah .....	79
<b>Tabel 4.34</b> Rekapitulasi Hasil Karakteristik <i>Marshall</i> .....	80





## DAFTAR GAMBAR

Tabel	Judul	Halaman
<b>Gambar 2.1</b>	Keuntungan Aspal Porus Dibanding Perkerasan Konvensional .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar California.....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar Australia Untuk Ukuran Maks. 10 mm	9
<b>Gambar 2.4</b>	Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar Australia Untuk Ukuran Maks. 14 mm	9
<b>Gambar 2.5</b>	Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Menggunakan Standar British .....	10
<b>Gambar 2.6</b>	Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Berdasarkan Standar California, Australia dan British.....	11
<b>Gambar 2.7</b>	Gradasi Aspal Porus.....	12
<b>Gambar 2.8</b>	Konstruksi Aspal Porus Pada Lapangan Parkir di Hackessin, Delaware .....	12
<b>Gambar 2.9</b>	Konstruksi Aspal Porus Pada Jalan Perumahan di Macon, Georgia .....	13
<b>Gambar 2.10</b>	Konstruksi Aspal Porus Pada Lapangan Parkir di Roswell, Georgia .....	13
<b>Gambar 2.11</b>	Konsep Ikatan Antar Butiran Agregat Pada Campuran Aspal, Georgia.....	13
<b>Gambar 2.12</b>	Contoh Hubungan antara Viskositas dan Temperatur .....	22
<b>Gambar 2.13</b>	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VIM .....	39
<b>Gambar 2.14</b>	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas .....	39
<b>Gambar 2.15</b>	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Flow.....	40
<b>Gambar 2.15</b>	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kekakuan Marshall (MQ) .....	40
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	41
<b>Gambar 3.2</b>	Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Menggunakan Standar Australia .....	47
<b>Gambar 3.3</b>	Automatic Asphalt Compactor .....	48
<b>Gambar 3.4</b>	Alat Uji <i>Marshall</i> .....	48
<b>Gambar 3.5</b>	Bak Perendam ( <i>Waterbath</i> ).....	49
<b>Gambar 3.6</b>	Skema Percobaan <i>falling head</i> .....	50
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Hubungan VIM pada Kadar Serabut Kelapa 0.5% .....	58
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik Hubungan VIM pada Kadar Serabut Kelapa 0.75% .....	58
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Hubungan VIM pada Kadar Serabut Kelapa 1% .....	59
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Hubungan Flow pada Kadar Serabut Kelapa 0.5% .....	59
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Hubungan Flow pada Kadar Serabut Kelapa 0.75% .....	59
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Hubungan Flow pada Kadar Serabut Kelapa 1% .....	60
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Hubungan Stabilitas pada Kadar Serabut Kelapa 0.5% .....	60
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik Hubungan Stabilitas pada Kadar Serabut Kelapa 0.75% .....	60

<b>Gambar 4.9</b> Grafik Hubungan Stabilitas pada Kadar Serabut Kelapa 1% .....	61
<b>Gambar 4.10</b> Grafik Hubungan MQ pada Kadar Serabut Kelapa 0.5% .....	61
<b>Gambar 4.11</b> Grafik Hubungan MQ pada Kadar Serabut Kelapa 0.75% .....	62
<b>Gambar 4.12</b> Grafik Hubungan MQ pada Kadar Serabut Kelapa 1% .....	62
<b>Gambar 4.13</b> Grafik Pita pada Kadar Serabut Kelapa 0.5% .....	63
<b>Gambar 4.14</b> Grafik Pita pada Kadar Serabut Kelapa 0.75% .....	63
<b>Gambar 4.15</b> Grafik Pita pada Kadar Serabut Kelapa 1% .....	63
<b>Gambar 4.16</b> Grafik 3D VIM .....	66
<b>Gambar 4.17</b> Grafik 3D Flow .....	67
<b>Gambar 4.18</b> Grafik 3D Stabilitas .....	68
<b>Gambar 4.19</b> Grafik 3D MQ .....	69





## DAFTAR LAMPIRAN

Tabel	Judul	Halaman
<b>LAMPIRAN</b>		86
<b>LAMPIRAN 1 Pengujian Karakteristik Agregat</b>		87
1.1	Uji Kekuatan Agregat terhadap Tumbukan	87
1.2	Uji Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	87
1.3	Uji Kepipihan dan Kelonjongan	88
1.4	Uji Berat Jenis Agregat Kasar	88
<b>LAMPIRAN 2 Pengujian Karakteristik Aspal</b>		90
2.1	Uji Berat Jenis Aspal	90
2.2	Uji Penetrasi Aspal	91
2.3	Uji Daktilitas Aspal	91
2.4	Uji Titik Lembek Aspal	92
2.5	Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	93
<b>LAMPIRAN 3 Pengujian Marshall (Stabilitas, Flow, MQ, VIM dan VMA)</b>		95
3.1	Perhitungan Marshall Standart Test	95
3.2	Perhitungan Hasil Pengujian Marshall Standart Test Variasi Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa	100

## DAFTAR TABEL LAMPIRAN

Tabel	Judul	Halaman
<b>Tabel 1</b>	Uji Kekuatan Agregat terhadap Tumbukan	87
<b>Tabel 2</b>	Uji Keausan Agregat Baru Pecah dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	87
<b>Tabel 3</b>	Uji Kepipihan dan Kelonjongan Agregat Batu Pecah	88
<b>Tabel 4</b>	Berat Sampel Agregat Kasar Batu Pecah	88
<b>Tabel 5</b>	Perhitungan Berat Jenis Agregat Kasar Batu Pecah	89
<b>Tabel 6</b>	Perhitungan Berat Jenis Aspal	90
<b>Tabel 7</b>	Hasil Uji Penetrasi Aspal	91
<b>Tabel 8</b>	Hasil Uji Daktilitas Aspal	91
<b>Tabel 9</b>	Hasil Uji Titik Lembek Aspal	92
<b>Tabel 10</b>	Hasil Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	93
<b>Tabel 11</b>	Faktor Korelasi	98

<b>Tabel 12</b> Hasil Pengujian Marshall Standart pada Kadar Serabut Kelapa 0,5% .....	100
<b>Tabel 13</b> Hasil Pengujian Marshall Standart pada Kadar Serabut Kelapa 0,75% .....	102
<b>Tabel 14</b> Hasil Pengujian Marshall Standart pada Kadar Serabut Kelapa 1% .....	104



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan perekonomian dan bertambah pesatnya populasi penduduk di Indonesia menuntut adanya kemajuan di segala sektor yang salah satunya yaitu bidang pembangunan. Perlu adanya keseimbangan antara tingkat perekonomian dan perkembangan sumber daya masyarakat guna meningkatkan kesejahteraan. Salah satu bidang pembangunan yang mendukung perekonomian masyarakat yaitu prasarana dan sarana transportasi khususnya jalan raya. Dapat dikatakan bahwa panjang jalan yang terhubung pada suatu negara dapat dikatakan makin maju negara tersebut. Tanpa adanya jalan, kegiatan perekonomian suatu negara akan terganggu untuk memenuhi kebutuhan hidup. Oleh karena itu, dibutuhkan prasarana jalan yang layak dan tidak terjadi kerusakan sehingga tingkat kenyamanan, keselamatan dan keamanan pengguna jalan dapat terpenuhi.

Sebagian besar perkerasan jalan di Indonesia menggunakan perkerasan lentur (flexible pavement) yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Di Indonesia yang memiliki iklim tropis dan curah hujan yang tinggi, terjadi banyak genangan air pada jalan. Genangan air tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan aspal dari jalan tersebut yaitu menyebabkan melemahnya daya tarik aspal. Melemahnya daya tarik aspal membuat komponen pembentuk lapisan aspal beton terpisah sehingga menyebabkan kerusakan pada lapisan aspal beton tersebut.

Penggunaan perkerasan aspal yang pada umumnya digunakan pada jalan di Indonesia mensyaratkan lapisan aspal beton memiliki sifat kedap air sehingga terjadinya genangan air dan banjir tidak terhindarkan. Dalam perkembangan perkerasan lentur, terdapat solusi untuk menyelesaikan masalah tersebut yaitu aspal porus. Aspal porus merupakan tipe perkerasan yang dikembangkan di Amerika, Eropa dan Australia. Perkerasan aspal porus memiliki banyak keuntungan bagi pengguna jalan dan lingkungan, seperti fungsi drainase dan menjaga keselamatan serta mengurangi tingkat kebisingan (Sugeng B,2003).

Aspal porus merupakan aspal yang memiliki komposisi agregat halus yang rendah dan presentase kadar agregat kasar kurang dari 85% sehingga memiliki rongga-rongga pada campuran aspal tersebut. Hal tersebut membuat aspal porus memiliki sifat drainase ganda, yaitu air mengalir melalui permukaan aspal dan melalui rongga-rongga campuran aspal tersebut. Rongga-rongga tersebut membuat jalan menjadi tidak licin, baik disebabkan permukaan jalan yang lebih kasar maupun karena air menyerap melalui rongga-rongga tersebut.

Meskipun mampu menyelesaikan masalah drainase, terdapat kelemahan pada aspal porus yaitu memiliki stabilitas *Marshall* yang lebih rendah dibandingkan perkerasan aspal. Hal tersebut disebabkan banyaknya rongga pada aspal porus. Oleh karena itu dibutuhkan modifikasi untuk meningkatkan stabilitas dari campuran aspal porus tersebut. Dalam usaha meningkatkan stabilitas dalam aspal porus pada penelitian ini, digunakan serabut kelapa sebagai bahan tambah. Nantinya akan dibandingkan stabilitas pada aspal porus dan aspal porus menggunakan bahan tambah serabut kelapa.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Sigit Pranowo H. (2013) sebelumnya terbukti bahwa serabut kelapa meningkatkan nilai stabilitas aspal sebesar 10-15%. Akan tetapi dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai kadar serabut kelapa yang harus digunakan dan penelitian tersebut belum pernah dilakukan penelitian pada campuran aspal porus. Oleh karena itu akan dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh serabut kelapa terhadap karakteristik *Marshall* dalam campuran aspal porus yang diharapkan dapat memberikan pengaruh terhadap stabilitas aspal porus.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah berdasarkan beberapa penjelasan diatas dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Genangan air pada permukaan jalan menyebabkan kerusakan pada jalan tersebut.
- b. Indonesia sebagai daerah dengan curah hujan tinggi dinilai kurang cocok menggunakan perkerasan jalan aspal biasa.
- c. Aspal porus dinilai cocok digunakan untuk perkerasan jalan di Indonesia yang memiliki curah hujan tinggi karena memiliki sifat permeabilitas yang baik dan kekesatan permukaan yang tinggi.
- d. Perkerasan aspal porus memiliki stabilitas rendah.
- e. Pemanfaatan serabut kelapa sebagai bahan tambah pada campuran aspal porus diharapkan bisa meningkatkan stabilitas.

### 1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana pengaruh penambahan serabut kelapa terhadap karakteristik *Marshall*?
- b. Berapa presentase kadar aspal dan serabut kelapa optimum yang ditambahkan pada campuran aspal porus?

### 1.4 Batasan Masalah

Karena struktur perkerasan jalan terdiri dari banyak material, lapisan - lapisan dan gradasi. Penelitian ini hanya difokuskan pada :

- a. Lapisan aspal.
- b. Agregat yang digunakan berasal dari daerah Malang dan sekitarnya.
- c. Aspal yang digunakan mempunyai aspal penetrasi 60/70.
- d. Penelitian ini menggunakan bahan tambahan Serabut Kelapa.
- e. Penelitian dilakukan di laboratorium sehingga pengaruh lingkungan (iklim) belum diperhitungkan.
- f. Menggunakan spesifikasi karakteristik *Marshall* dari standar Australia karena menurut penelitian yang di lakukan sebelumnya menghasilkan bahwa standar Australia memiliki nilai stabilitas *Marshall* yang tinggi.
- g. Karakteristik yang dibandingkan hanya VIM (*Voids in Mix*), stabilitas, *flow*, dan MQ (*Marshall Quotient*).
- h. Pengujian permeabilitas menggunakan uji *Falling Head*

### 1.5 Tujuan Penelitian

Beberapa tujuan yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

- a. Untuk mengetahui pengaruh penambahan serabut kelapa terhadap karakteristik *Marshall*.
- b. Menentukan presentase kadar aspal dan kadar serabut kelapa optimum yang ditambahkan pada campuran aspal porus.

## 1.6 Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini dapat memberikan manfaat kepada :

a. Manfaat bagi Akademisi

Berguna sebagai tinjauan pustaka untuk penelitian aspal porus selanjutnya. Selain itu juga menjadi suatu ilmu baru dalam perkerasan jalan di Indonesia.

b. Manfaat bagi Praktisi (perencana dan pelaksana kontruksi jalan)

Berguna sebagai dasar penentuan material gradasi perkerasan aspal porus agar jalan yang dikerjakan layak digunakan dan memiliki nilai lebih.

c. Manfaat bagi Pemerintah

Sebagai peningkatan layanan jalan terhadap masyarakat yang menggunakan dan juga mengurangi anggaran pembangunan dan perawatan jalan.

d. Manfaat bagi Masyarakat

Mengurangi resiko kecelakaan akibat tergenangnya air, mengurangi resiko banjir, juga meningkatkan kelancaran lalu lintas.

e. Manfaat bagi Lingkungan

Mengurangi kebisingan lalu lintas, menurunkan suhu udara disekitar jalan, juga meningkatkan resapan air tanah yang saat ini cepat berkurang akibat pembangunan. Serta mengurangi limbah serabut kelapa yang selama ini terbuang tanpa dimanfaatkan.



## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

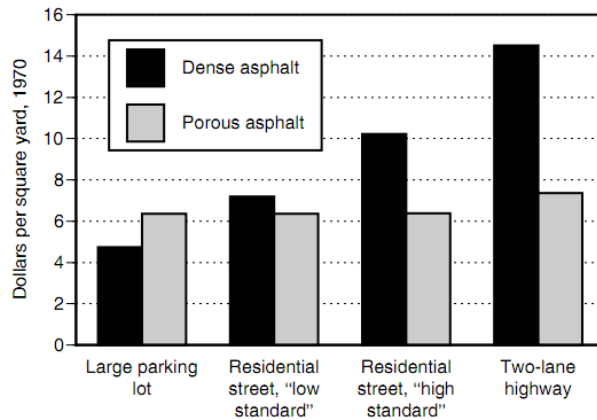
#### 2.1. Aspal Porus

Campuran aspal porus mempunyai rongga-rongga antar material yang merupakan campuran generasi baru dalam perkerasan lentur, bertujuan untuk air dapat mengalir ke dalam rongga-rongga menuju lapisan atas (*wearing course*). Setelah meresap melalui rongga-rongga tersebut dan mengalir menuju dalam tanah maka akan menjadi air tanah. Penggunaan campuran Aspal Porus ini memiliki berbagai manfaat dari segi bidang lingkungan, ekonomi maupun struktural.

Dari bidang lingkungan, penggunaan Aspal Porus pada daerah yang tidak banyak memiliki ruang hijau yang cukup dan tidak adanya tangkapan air akan menjadi sarana dalam menyalurkan air melalui rongga-rongga dan masuk ke tanah menjadi air tanah. Penggunaan Aspal Porus juga dapat mengurangi bahaya dari polutan untuk dapat masuk ke dalam tanah. Polutan yang berupa cairan tersebut dapat berasal dari hidrokarbon bahan-bahan aspal sendiri maupun dari oli mobil.

Dari bidang ekonomi penggunaan Aspal Porus lebih irit dari pada ketika membangun dengan perkerasan konvensional. Sehingga dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut:





**Gambar 2.1** Keuntungan Aspal Porus Dibanding Perkerasan Konvensional

Sumber: *Comparative construction costs of Porous Asphalt and dense aspalth pavement* (data from Field et al., 1982, and Thelen et al., 1972, pp. 7, 116 and 118)

### 2.1.1 Kelebihan dan Kekurangan

Dalam perkembangan teknologi dunia perkerasan, tentu memiliki kelebihan dan kekurangan dalam penggunaan Aspal Porus, yaitu:

- a. Kelebihan penggunaan Aspal Porus:
  - Meningkatkan keselamatan dalam berkendara di jalan bagi pengendara
  - Mengurangi efek silau yang ditimbulkan di malam hari
  - Mengurangi kebisingan yang terjadi
  - Mengurangi efek *aquaplaning* ketika melewati permukaan aspal yang basah
  - Mempunyai *skid rintance* yang baik
- b. Kekurangan penggunaan Aspal Porus:
  - Meningkatkan resiko *pumping* oleh lalu lintas
  - Kemungkinan bahaya desintegrasi perkerasan karena kurangnya *interlocking*
  - Stabilitas aspal yang rendah
  - Peluang terjadinya pelapukan yang tinggi

### 2.1.2 Gradasi Aspal Porus

Aspal porus merupakan pengembangan campuran aspal untuk konstruksi *wearing course*. Campuran ini menggunakan gradasi terbuka (*open-graded*) yang didominasi campurannya oleh agregat kasar. Sifat-sifat Aspal Porus sendiri telah ditentukan oleh gradasi agregat, di samping juga bergantung dari sifat-sifat bahan pembentuk aspal itu sendiri.

Awal mula penggunaan Aspal Porus *pavement* ini dimulai pada awal tahun 1970 di *The Franklin Institute*. Institut ini memulai percobaan mereka dengan cara mengidentifikasi gradasi agregat yang dipakai di jalan raya sekitar Britain, California. Tabel 2.2 dibawah ini menunjukkan hasil penelitian tentang gradasi agregat yang dihasilkan oleh *The Franklin Institute* sebagai berikut :

**Tabel 2.1** Gradasi Agregat Aspal Porus

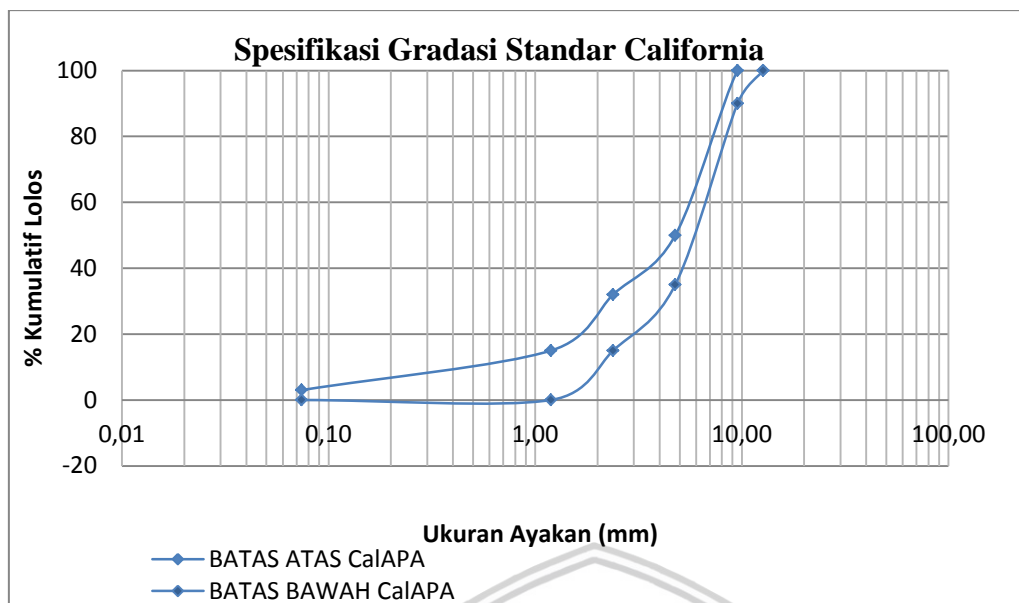
Sieve Size	Percent (By Weight) Passing		
	California Specification	As Tasted by Franklin Institute	Specified by Thelen and Howe
1/2 inch	100	100	100
3/8 inch	90-100	97	95
No.4	35-50	34	35
No.8	15-32	16	15
No.16	0-15	13	10
No.200	0-3	2	2

Sumber: *Data from Thelen et al., 1972, pp.4 and 41 ; and Thelen and Howe ,1978,p.64.*

**Tabel 2.2** Gradasi Aspal Porus Standar California

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos	
	Batas Atas	Batas Bawah
19,000	100	100
12,700	100	100
9,530	100	90
6,350	50	35
2,380	32	15
1,190	15	0
0,595	-	-
0,279	-	-
0,149	-	-
0,074	3	0
Total	100	100

Sumber: *California Department of Transportation, 2007*



**Gambar 2.2** Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar California

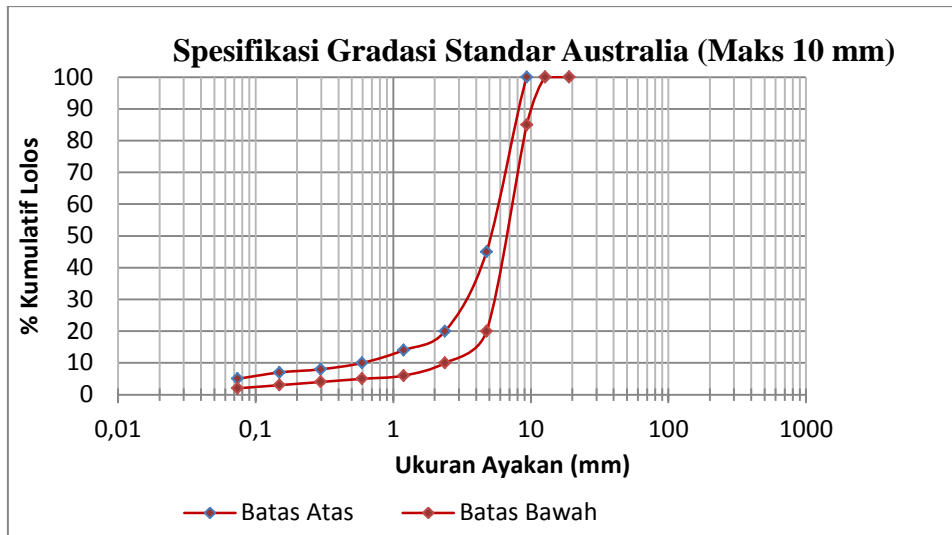
Sumber: *California Department of Transportation, 2007*

*University of Delaware* di Newmark pada tahun 1973 melanjutkan penelitian untuk menyempurnakan tentang gradasi dan bentuk struktural *Aspal Porus Pavement* oleh *The Franklin Institute*.

**Tabel 2.3** Gradasi Aspal Porus Standar Australia

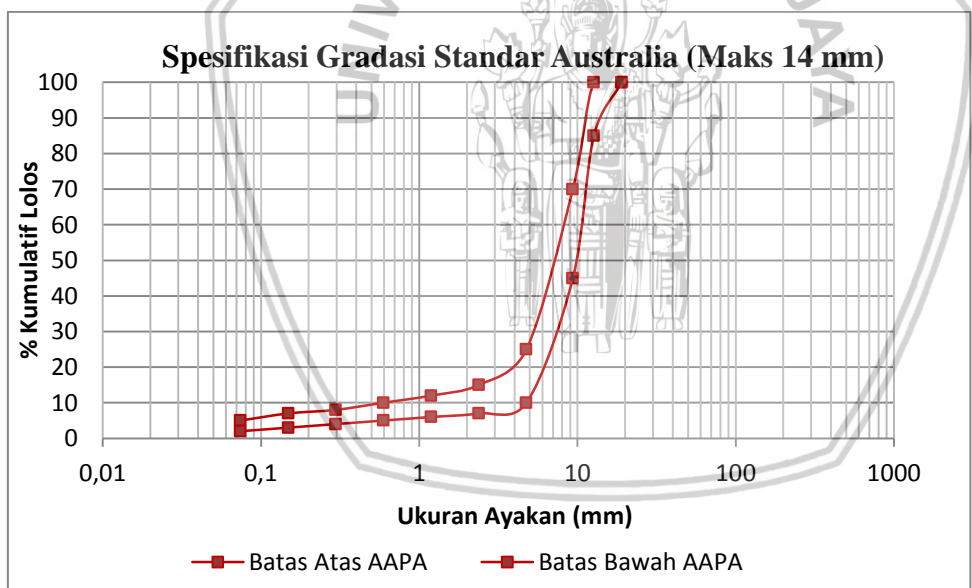
Ukuran (mm)	% Berat Yang Lolos	
	Ag. Maks. 10 mm	Ag. Maks. 14 mm
19,000	100	100
12,700	100	85 – 100
9,530	85 – 100	45 – 70
4,760	20 – 45	10 – 25
2,380	10 – 20	7 – 15
1,190	6 – 14	6 – 12
0,585	5 – 10	5 – 10
0,279	4 – 8	4 – 8
0,149	3 – 7	3 – 7
0,074	2 – 5	2 – 5
Total	100	100
Kadar Aspal	5,0 – 6,5	4,5 – 6,0

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*



**Gambar 2.3** Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar Australia Untuk Ukuran Maks. 10 mm

Sumber : *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*



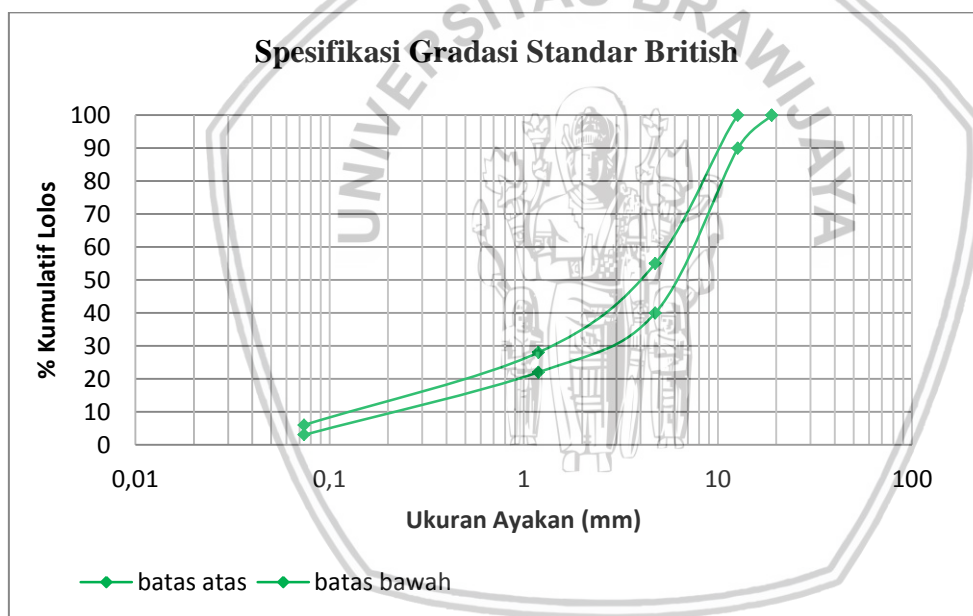
**Gambar 2.4** Spesifikasi Gradasi Aspal Porus Standar Australia Untuk Ukuran Maks. 14 mm

Sumber : *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*

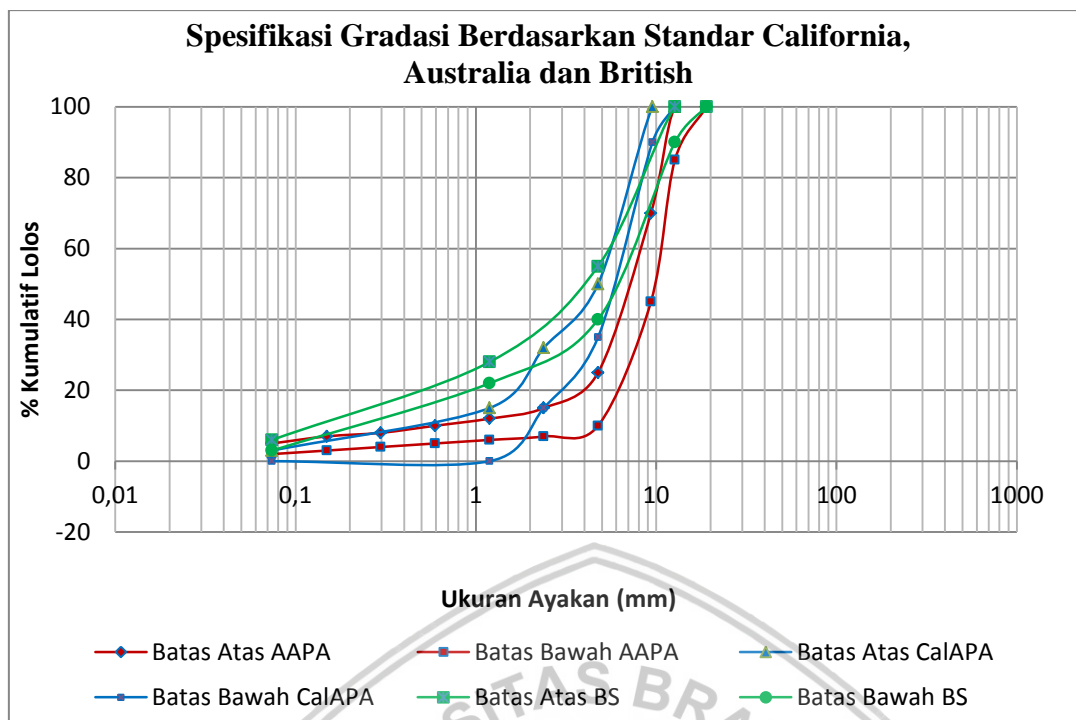
**Tabel 2.4** Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos	
	Batas Atas	Batas Bawah
19,000	100	100
12,700	100	100
9,530	100	90
6,350	55	40
2,380	28	22
0,074	6	3

Sumber: Takahasi, 1999

**Gambar 2.5** Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Menggunakan Standar British

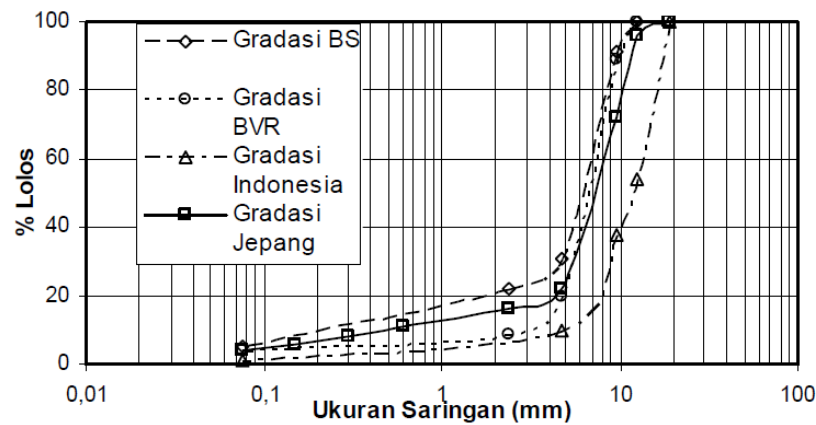
Sumber: Takahasi, 1999



**Gambar 2.6** Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Berdasarkan Standar California, Australia dan British

**Tabel 2.5** Tabel Gradasi Aspal Porus

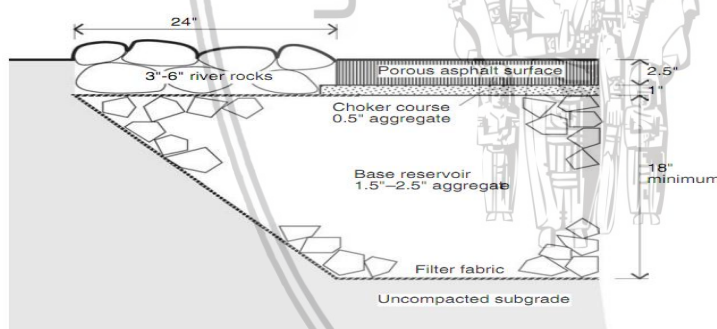
Saringan (mm)	% Lolos			
	BS	BVR	INA	JPN
19,5	100	100	100	100
12,5	100	100	54	96
9,5	91		38	72
4,75	31	20	10	22
2,36	22	9	-	16
0,6	-	-	-	11
0,3	-	-	-	8
0,15	-	-	-	6
0,075	5	4	1	4



**Gambar 2.7** Gradasi Aspal Porus

### 2.1.3 Pemakaian Aspal Porus

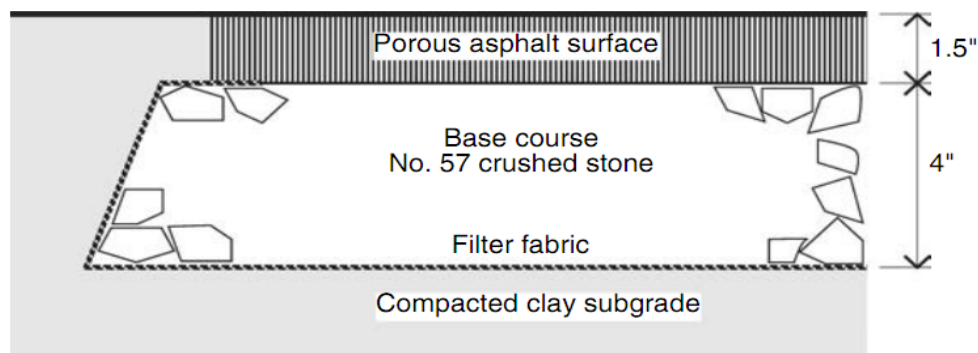
Penggunaan Aspal Porus pada waktu ini bermanfaat dan banyak digunakan di negara-negara maju. Manfaat dari Aspal Porus yaitu untuk mencegah air tergenang dalam waktu lama pada permukaan jalan. Dikarenakan air yang terlalu lama menggenang akan mengurangi ikatan antar agregat pada perkerasan. Berikut ini adalah gambar Aspal Porus di berbagai negara :



**Gambar 2.8** Konstruksi Aspal Porus Pada Lapangan Parkir di Hackessin, Delaware

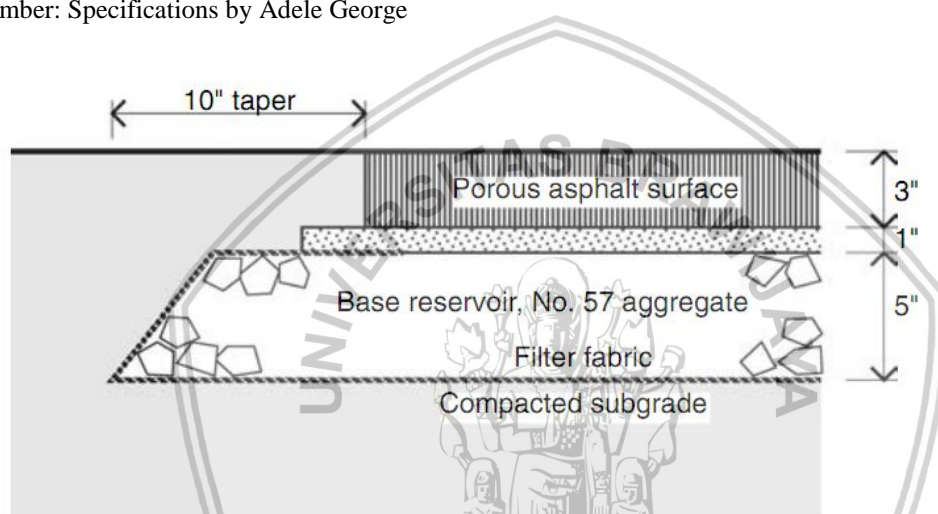
Sumber: Brown, 1996 and Cahill, 1993





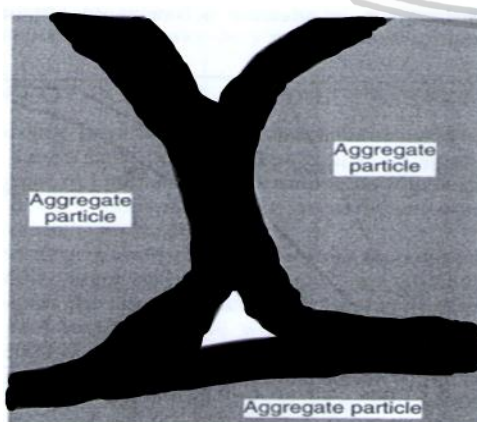
**Gambar 2.9** Konstruksi Aspal Porus Pada Jalan Perumahan di Macon, Georgia

Sumber: Specifications by Adele George



**Gambar 2.10** Konstruksi Aspal Porus Pada Lapangan Parkir di Roswell, Georgia

Sumber: Specifications by Cerulca



**Gambar 2.11** Konsep Ikatan Antar Butiran Agregat Pada Campuran Aspal, Georgia

Sumber: Department of Transportation

## 2.2. Agregat

Agregat merupakan sekumpulan material yang berupa butir-butir batu pecah, pasir, gravel, atau mineral-mineral yang berupa hasil alam maupun hasil buatan manusia. Fungsi dari agregat dalam campuran aspal merupakan sebagai susunan yang memberikan stabilitas pada campuran apabila dipadatkan dengan cara dan alat yang benar.

Agregat adalah material yang sifatnya keras dan anorganik. Agregat yang merupakan komponen utama atau susunan dari lapisan perkerasan jalan mengandung 90-95% agregat yang berdasarkan persentase berat atau 70% - 75% agregat berdasarkan persentase volume (Silvia, Sukirman, 2003, Beton Aspal Campuran Panas).

Jenis agregat yang dipilih disesuaikan untuk kebutuhan konstruksi perkerasan yang dipengaruhi oleh kekuatan, gradasi, tekstur permukaan, bentuk butir, kelekatan pada aspal maupun kebersihan dan sifat kimianya. Daya tahan atau stabilitas dipengaruhi oleh jenis dan campuran agregat.

### 2.2.1. Jenis – Jenis Agregat

Jenis-jenis agregat dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan dari sumber cara pengolahan agregat tersebut, antara lain:

#### 1. Agregat Alam

Agregat alam merupakan agregat yang didapatkan dari alam, dapat terbentuk dari degradasi dan proses erosi. Agregat yang terbentuk dari proses erosi dari aliran sungai memiliki permukaan yang licin dan berbentuk bulat, sedangkan untuk agregat yang degradasi yang berasal dari bukit-bukit berbentuk sudut-sudut (kubus ) dengan permukaan yang kasar.

Pasir dan batu kerikil merupakan agregat alam yang digunakan pada campuran perkerasan jalan. Kerikil merupakan agregat dengan ukuran partikel lebih besar dari 6,35 mm, sedangkan pasir memiliki ukuran antara 6,35-0,075mm, untuk agregat yang berukuran lebih kecil dari 0,075 didefinisikan sebagai material pengisi (*filler*).

#### 2. Agregat Buatan

Agregat buatan merupakan agregat yang berasal dari hasil proses kimia dan fisika yang akan membentuk mineral baru menyamai agregat. Agregat buatan dapat

diproses dengan sedemikian rupa dengan agregat seperti agregat kasar, halus ataupun pengisi (*filler*).

### 3. Agregat yang telah di proses

#### 2.2.2. Agregat Kasar

Agregat kasar memiliki ukuran yang paling besar diantara agregat lainnya. Ukuran agregat kasar ini adalah agregat yang tertahan pada saringan 2,36 mm atau No.8 maupun saringan di atasnya, menurut ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Dimana campuran aspal panas memiliki ukuran yang bisa digunakan di semua jenis *hotmix*. Untuk keperluan pengujian, fraksi agregat harus terdiri atas kerikil maupun batu pecah dan harus disediakan dalam ukuran normal yang juga cukup kuat, awet, bersih dan bebas dari bahan-bahan lain yang mengganggu campuran aspal.

Komposisi agregat kasar yang digunakan di Indonesia untuk campuran aspal panas dapat dilihat pada Tabel 2.7 sebagai berikut :

**Tabel 2.6** Komposisi Agregat Kasar

Ukuran (mm)	Saringan	Berat Lolos (%)
20		100
12,7		30-100
9,5		0-55
4,75		0-10
0,075		0-1

Sumber: Spesifikasi Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga

Ketentuan-ketentuan mengenai agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.8 sebagai berikut:

**Tabel 2.7** Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Standart	Nilai
Kekekalah bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 03-3407-1994	Maks 12 %
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 03-2417-1991	Min 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min 95 %
Angularitas	SNI 03-6877-2002	95/90(*)
Partikel pipih dan lonjong (**)	ASTM D-4791	Maks 10 %

Catatan:

(\*)95/90 menunjukkan 95 % agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90% agregat kasar memiliki muka bidang pecah dua atau lebih.

(\*\*)Pengujian dengan cara membandingkan lengan alatuji terhadap poros 1:5

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum

### 2.2.3. Agregat Halus

Agregat yang secara umum memiliki ukuran antara 0,234 – 0,0075 mm. Untuk agregat halus dalam campuran aspal panas juga mempunyai spesifikasi umum yang digunakan untuk *hotmix*. Agregat halus merupakan bahan dengan bidang-bidang kasar, sudut-sudut tajam dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan lain yang tidak dikehendaki.

Agregat halus terdiri dari agregat halus dan agregat kasar tetapi yang dominan pada agregat halus. Menurut Bina Marga komposisi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2.9 dan dengan ketentuan pada Tabel 2.10 sebagai berikut :

**Tabel 2.8** Komposisi Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Berat Lolos (%)
9,5	100
4,75	90-100
2,36	80-100
600 micron	25-100
75 mciron	3-11

Sumber: Spesifikasi Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga

**Tabel 2.9** Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standart	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03- 4428-1991	Min. 50 %
Material Lolos Saringan No 200	SNI 03- 4428 -1992	Maks. 8 %
Angularitads	SNI 03- 6877 -1993	Min. 45 %

Sumber: Spesifikasi Umum Desember, 2006

Spesifikasi AASHTO juga dapat digunakan untuk referensi campuran aspal panas di Indonesia. Berikut Tabel Standar Internasional AASHTO (AASHTO 29-70) mengenai spesifikasi agregat halus :

**Tabel 2.10** Komposisi Agregat Halus (AASHTO 29-70)

No. Saringan	I	II	III
3/8"	100		100
4	95-100	100	80-100

Sumber: AASHTO 29-70

**Tabel 2.11** Komposisi Agregat Halus (AASHTO 29-70) (*lanjutan*)

No. Saringan	I	II	III
8	70-100	95-100	65-100
16	40-80	85-100	40-80
30	20-65	65-90	20-65
50	7-40	30-60	7-40
100	2-20	5-25	2-20
200	0-10	0-5	0-10

Sumber: AASHTO 29-70

**Tabel 2.12** Komposisi Agregat Halus Aspal Porus Standar Australia

Ukuran Ayakan (mm)	Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)
2,38	15	7
1,19	12	6
0,595	10	5
0,279	8	4
0,149	7	3
0,075	5	2

Sumber: Australian Asphalt Pavement Association, 2004

#### 2.2.4. Filler

Filler merupakan bagian pengisi rongga dalam campuran (*void in mix*) berbutir halus lolos saringan nomor 30 di mana persentase lolos saringan nomor 200 minimum 65% (SKBI 2.4.26.1987). Debu batu kapur, debu dolomits atau semen Portland dapat

digolongkan sebagai filler. Fungsi filler dalam campuran untuk meningkatkan stabilitas dan mengurangi rongga udara. Gradasi filler telah ditentukan pada Tabel 2.12 sebagai berikut :

**Tabel 2.13** Ukuran Saringan dan Persentase Berat Lolosnya

Ukuran Saringan	Persentase Berat Lolos
No. 30 (0.590 mm)	100
No. 50 (0.279 mm)	95-100
No. 100 (0.149 mm)	90-100
No. 200 (0.075 mm)	65-100

Sumber : SKBI 2.4.26.1987

### 2.3.Serabut Kelapa

Buah kelapa terdiri dari *epicarp* yang merupakan bagian luar yang permukaannya licin, agak keras dan tebalnya kurang lebih 0,7 mm, *mesocarp* yaitu bagian tengah yang disebut sabut, bagian ini terdiri dari serat kertas yang tebalnya 3-5 cm, *endocarp* yaitu tempurung tebalnya 3-6 mm. Sabut merupakan bagian tengah (*mesocarp*) *epicarp* dan *endocarp*. Sabut kelapa merupakan bagian terluar buah kelapa. Ketebalan sabut kelapa berkisar 5-6 cm yang terdiri atas lapisan terluar (*exocarpium*) dan lapisan dalam (*endocarpium*). *Endocarpium* mengandung serat halus sebagai bahan pembuat tali, karpet, sikat, keset, isolator panas dan suara, filter, bahan pengisi jok kursi/mobil dan papan hardboard. Satu butir buah kelapa menghasilkan 0,4 kg sabut yang mengandung 30% serat.

Komposisi kimia sabut kelapa terdiri atas selulosa, lignin, pyroligneous acid, gas, arang, ter, tannin, dan potasium. Dilihat sifat fisisnya sabut kelapa terdiri dari : Seratnya terdiri dari serat kasar dan halus dan tidak kaku. Mutu serat ditentukan dari warna dan ketebalan. Mengandung unsur kayu seperti lignin, suberin, kutin, tannin dan zat lilin. Dari sifat mekaniknya : Kekuatan tarik dari serat kasar dan halus berbeda. Mudah rapuh dan hancur.

#### 2.3.1. Komposisi Serat Sabut Kelapa

Hasil uji komposisi serat sabut kelapa berdasarkan SNI yang dilakukan Sarana Riset dan Standarisasi dapat dilihat pada Tabel 2.13 berikut:



**Tabel 2.14** Komposisi Serat Sabut Kelapa

Parameter	Hasil Uji Komposisi (%)	Metode Uji
Kadar Abu	2.02	SNI 14-1031-1989
Kadar Lignin (Metode Klakson)	31.48	SNI 14-0492-1990
Kadar Sari	3.41	SNI 14-1032-1989
Kadar Alfa Selulosa	32.64	SNI 14-0444-1989
Kadar Total Selulosa	55.34	Metoda Internal BBPK
Kadar Pentosan sebagai Hemiselulosa	22.70	SNI 01-1561-1989
Kelarutan dalam NaOH 1 %	20.48	SNI 19-1938-1990

Sumber: Sunarjo, 2008, (*Laboratorium Balai Besar Pulp dan Kertas*)

Uji komposisi sifat kimia untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat dalam serat sabut kelapa. Uji kadar abu untuk mengetahui kadar abu yang terdapat dalam serat sabut kelapa. Uji lignin untuk mengetahui jumlah lignin dalam serat sabut kelapa. Lignin adalah bagian yang terdapat dalam lamella tengah dan dinding sel yang berfungsi sebagai perekat antar sel, dan merupakan senyawa aromatic yang berbentuk amorf. Suatu komposit akan mempunyai sifat fisik atau kekuatan yang baik apabila mengandung sedikit lignin, karena lignin bersifat kaku dan rapuh.

#### 2.1.4 Studi Terdahulu

Berdasarkan jurnal internasional oleh Majid Ali, Anthony Liu, Hou Sou, Nawawi Chouw dengan judul Properti Dinamis dan Mekanis Beton Campuran Serabut Kelapa, dikatakan bahwa serat serabut kelapa dapat lolos dari saringan agregat pada ukuran 12 mm dan tertahan pada saringan ukuran 10 mm. Serat serabut kelapa dapat direndam dalam suatu tempat selama 30 menit dengan tujuan menghilangkan unsur-unsur debu dan kotoran, lalu dibilas, ditiriskan dan dibersihkan selama tiga kali berturut-turut. Guna mempercepat pengeringan ditiriskan lalu dimasukkan oven dengan suhu 30 selama 10 sampai 12 jam untuk mengurangi kandungan air yang terkandung di dalam serabut kelapa. Setelah dikeluarkan dari oven, serabut kelapa dapat dipotong sesuai panjang yang dikehendaki.



## 2.4.Aspal

Aspal atau bitumen didefinisikan sebagai material perekat yang berwarna kecoklatan. Aspal merupakan bahan pengikat dalam perkerasan yang mempunyai sifat viskoelastis. Aspal juga bersifat termoplastis dimana aspal akan mencair jika dipanaskan pada suhu tertentu dan kembali membeku jika temperatur suhu turun. Aspal berasal dari dua jika ditinjau dari tempat diperolehnya, yaitu aspal alam (aspal buton) dan aspal minyak (aspal yang berasal dari minyak bumi).

Fungsi dari aspal yaitu sebagai bahan pengikat dan bahan pengisi. Sebagai bahan pengikat, aspal berfungsi untuk merekatkan campuran atas aspal dengan agregat maupun aspal itu sendiri. Sedangkan aspal sebagai bahan pengisi, berfungsi mengisi setiap rongga-rongga dalam agregat.

Penggunaan yang paling umum adalah aspal keras pen 60/70 atau pen 80/100. Syarat umum aspal keras adalah berasal dari saringan minyak bumi, harus mempunyai sifat yang sejenis dan kandungan parafin tidak lebih dari 2%, serta tidak mengandung air. Persyaratan aspal keras penetrasi 60/70 dapat dilihat pada Tabel 2.14 berikut:

**Tabel 2.15** Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25°C ; 100 gr ; 5 detik ; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60-79
2	Titik Lembek, °C	SNI 06-2434-1991	48-58
3	Titik Nyala, °C	SNI 04-2433-1991	min.200
4	Daktilitas °C, cm	SNI 06-2432-1991	min.100
5	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	min.1
6	Kelarutan dalam Trichlor Ethylen, %berat	RSNI M-04-2004	min. 99
7	Penurunan Berat (dengan TFOT), %berat	SNI 06-2440-1991	min.0,8
8	Penetrasi setelah penurunan berat, %asli	SNI 06-2456-1991	min.54
9	Daktilitas setelah penurunan berat, %asli	SNI 06-2432-1991	min.50
10	Uji noda Aspal <ul style="list-style-type: none"> <li>- Standar naptha</li> <li>- Naptha xylene</li> <li>- Heptane xylene</li> </ul>	SNI 03-6885-2002	negatif

Sumber: Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas. 2018.

### 2.4.1. Klasifikasi Aspal

Aspal diklasifikasikan dalam tingkatan atau kelas berdasarkan dua sistem, yaitu viskositas dan uji penetrasi. Dalam sistem tersebut aspal dikelompokkan dalam tingkatan atau kelas yang berbeda pula. Viskositas dinyatakan sebagai tahanan aliran fluida yang merupakan gesekan antara moleku-molekul cairan satu dengan yang lain. Dikatakan memiliki viskositas yang rendah bila suatu cairan mudah mengalir, dan sebaliknya dikatakan memiliki viskositas yang tinggi bila sulit mengalir.

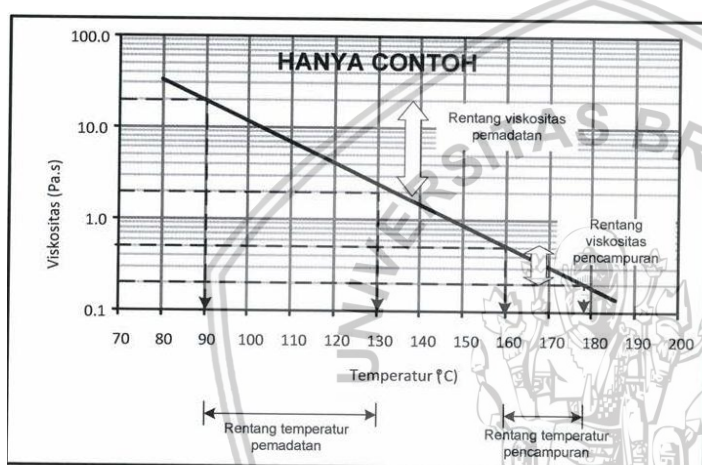
Sedangkan viskoelastisitas aspal adalah material aspal yang sifatnya berubah tergantung pada waktu pembebanan dan temperatur. Kegunaan mengetahui sifat viskoelastis aspal adalah untuk menentukan pada temperatur berapa harus dilakukan pencampuran aspal dengan agregat agar mendapat campuran yang homogen yaitu aspal menyelimuti semua permukaan agregat secara merata dan aspal dapat masuk ke dalam pori-peogi agregat sehingga membentuk ikatan kohesi yang kuat yang nantinya mengetahui temperatur yang sesuai dalam melakukan pemadatan dapat dan kapan harus dihentikan.

Pemadatan dilakukan ketika temperatur aspal yang rendah dengan kondisi yang masih sangat kental maka akan terjadi pergeseran campuran beraspal dikarenakan campuran tersebut belum cukup kaku untuk memikul beban dari alat pemadat. Sebaliknya, jika pemadatan dilakukan saat temperatur aspal yang tinggi dimana sudah bersiat kurang elastis maka pemadatan yang diberikan tidak lagi menaikkan kepadatan campuran tetapi akan merusak atau mungkin menghancurkan campuran tersebut. Hal ini dikarenakan pada campuran aspal yang sudah cukup kaku, agregat pembentuknya sudah terikat kuat oleh aspal dan aspal tidak lagi berfungsi sebagai pelumas untuk relokasi agregat, sehingga energi pemadatan yang diberikan sudah tidak mampu lagi memaksa partikel agregat untuk bergerak mendekat satu dengan yang lainnya namun energi ini justru akan menghancurkan ikatan antara agregat dengan aspal yang sudah terbentuk sebelumnya.

**Tabel 2.16** Ketentuan Viskositas dan Temperatur Aspal untuk Pencampuran dan Pemadatan

No	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas Aspal	Perkiraan Temperatur Aspal	
			Tipe I	Tipe IIB
1	Pencampuran benda uji Marshall	0,2	155 ±1	165 ±1
2	Pemadatan benda uji Marshall	0,4	145 ±1	155 ±1
3	Pencampuran, rentang temperatur sasaran	0,2 – 0,5	145 – 155	155 – 165
4	Menuangkan campuran aspal dari alat pencampur ke dalam truk	± 0,5	135 – 150	145 – 160
5	Pemasukan ke Alat Penghampar	0,5 – 1,0	130 – 150	140 – 160
6	Pemadatan Awal (roda baja)	1 – 2	125 – 145	135 – 155
7	Pemadatan antara (roda karet)	2 – 20	100 – 125	110 – 135
8	Pemadatan akhir (roda baja)	< 20	> 95	> 195

Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2010



**Gambar 2.12** Contoh Hubungan antara Viskositas dan Temperatur

Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2010

v

Klasifikasi aspal juga dapat ditentukan dengan nilai penetrasi berdasarkan uji penetrasi. Pada uji ini, sebuah jarum standar dengan beban 100 gram (termasuk berat jarum) ditusukkan ke atas permukaan aspal, panjang jarum yang masuk ke dalam contoh aspal dalam waktu lima detik diukur dalam satuan persepuluh mili meter (0,1 mm) dan dinyatakan sebagai nilai penetrasi aspal. Semakin kecil nilai penetrasi aspal, semakin keras aspal tersebut.

**Tabel 2.17** Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi

No	Jenis	Satuan	Metode	Persyaratan
----	-------	--------	--------	-------------

	Pengujian			Pen 40	Pen 60	Pen 80	Pen 120	Pen 200
1	Penetrasi 25°C 100gr, 5dtk	0,01	SNI 06- 2456-1991	40-59	60-99	80-99	120-150	200-300
2	Titik Lembek	Mm	SNI 06- 2434-1990	51-63	50-58	46-54	129-150	200-300
3	Titik Nyala	°C	SNI 06- 2456-1991	>200	>225	>225	>218	>117
No	Jenis Pengujian	Satuan	Metode	Pen 40	Pen 60	Pen 80	Pen 120	Pen 200
4	Daktilitas 25°C	°C	SNI 06- 2432-1992	>100	>100	>100	>100	-
5	Berat Jenis	Cm	SNI 06- 2488-1997	>1	>1	>1	-	-
6	Kelarutan Dalam Trichol Etylen	gr/cm <sup>2</sup>	SNI 06- 2438-1993	min 99	min 99	min 99	min 99	min 99
7	Penurunan Berat (dgn TFOT)	%	SNI 06- 2441-1994	min 0,8	min 0,1	min 0,1	min 1,3	min 1,3
8	Daktilitas setelah Penurunan Berat	Cm	SNI 06- 2432-1996	-	min 50	min 75	min 100	min 100

Sumber: Standar Nasional Indonesia. 2003

## 2.5. Campuran Aspal Panas (Hot Mix Asphalt)

Campuran aspal panas adalah suatu campuran perkerasan jalan lentur yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler, dan bahan pengikat aspal dengan perbandingan tertentu dan untuk mengeringkan agregat dan mencairkan aspal agar dapat dengan mudah dicampur dengan baik maka sebelum pencampuran bahan tersebut harus dipanaskan.

Indonesia adalah suatu negara yang beriklim tropis dengan temperatur permukaan jalan yang cukup tinggi dan makin meningkatnya lalu lintas yang ada. Di Indonesia terdapat beberapa jenis campuran aspal panas yang dibedakan menurut lalu lintas yang melewatinya, yaitu:

1. Latasir (HRSS) Kelas A dan B

2. HRS
3. Laston (AC)
4. Asphalt Treated Base (ATB)
5. Split Mastik Asphalt

Pada umumnya Hotmix digunakan sebagai konstruksi perkerasan lentur, yang mana mempunyai syarat-syarat yang harus dipenuhi dipandang dari segi kekuatan dan segi kenyamanan, (*The Asphalt Institute, 1985*), kondisi yang harus dipenuhi sebagai berikut:

a. Stabilitas

Kekuatan dari campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban tetap dan berulang tanpa mengalami keruntuhan (*plastic flow*). Untuk mendapat stabilitas yang tinggi diperlukan agregat bergradasi baik, rapat, dan mempunyai rongga antar butiran agregat (VMA) yang kecil. Tetapi akibat VMA yang kecil, pemakaian aspal yang banyak akan menyebabkan terjadinya bleeding karena aspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik. Agar dapat mendukung fungsi tersebut diatas adalah sebagai berikut:

- Agregat harus bergradasi rapat / keras / permukaan kasar (batu pecah).
- Kadar aspal sedang.
- Aspal yang digunakan aspal keras dengan penetrasi kecil.

b. Durabilitas atau ketahanan

Ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh cuaca, air, perubahan suhu, maupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Untuk mencapai ketahanan yang tinggi diperlukan rongga dalam campuran (VIM) yang kecil, sebab dengan demikian udara tidak (atau sedikit) masuk kedalam campuran yang dapat menyebabkan menjadi rapuh. Selain itu diperlukan juga VMA yang besar, sehingga aspal dapat menyelimuti agregat lebih baik.

c. Fleksibilitas atau kelenturan

Kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa mengalami retak (*fatigue cracking*). Fungsinya yaitu untuk mencegah air masuk karena jika jalan semakin kaku, kemungkinan timbulnya retak semakin tinggi, menahan/melawan tegangan/regangan tarik. Jalan yang terlalu *flexible* berakibat perubahan bentuk (*rutting* alur) sangat tinggi. Untuk mencapai



kelenturan yang tinggi diperlukan VMA yang besar, VIM yang kecil, dan pemakaian aspal dengan penetrasi tinggi.

d. Kekesatan (*skid resistance*)

Kemampuan perkerasan aspal memberikan permukaan yang cukup kesat sehingga kendaraan yang melaluinya tidak mengalami slip, baik di waktu jalan basah maupun kering. Untuk mencapai kekesatan yang tinggi perlu pemakaian kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi bleeding, dan penggunaan agregat kasar yang cukup.

e. Ketahanan leleh (*fatigue resistance*)

Kemampuan aspal beton untuk mengalami beban berulang tanpa terjadi kelelahan berupa retak atau kerusakan alur (*rutting*).

f. *Impermeable* / kedap air

Sifat *impermeable* pada campuran aspal berfungsi untuk mencegah masuknya air/udara karena jika air masuk maka akan mempercepat proses oksidasi sehingga proses pelapukan akan berlangsung cepat. Agar dapat mendukung fungsi tersebut diatas maka dibutuhkan sebagai berikut:

- Gradasi agregat rapat.
- Kadar aspal besar.
- Rongga udara (*air void*) kecil.

g. Workabilitas

Kemudahan campuran aspal untuk diolah. Faktor yang mempengaruhi workabilitas antara lain gradasi agregat, dimana agregat yang bergradasi baik lebih mudah dikerjakan, dan kandungan filler, dimana filler yang banyak akan mempersulit pelaksanaan. Campuran aspal panas dibedakan menjadi 2 (dua) macam, yaitu: Campuran aspal panas dengan agregat bergradasi senjang (*Gap Graded Aggregate Mix*) dan agregat bergradasi menerus (*Continuous Graded Aggregate Mix*).

*Gap Graded Aggregate Mix* (Campuran dengan Agregat Gradasi Senjang) terdiri dari campuran pasir halus, bahan pengisi (*filler*), aspal ditambah dengan proporsi agregat kasar yang bervariasi. Stabilitas diperoleh dari tingkat kekuatan saling mengikat antara butiran pasir yang diikat oleh aspal.

*Continuous Graded Aggregate Mix* (Campuran dengan Agregat Gradasi Menerus). Susunan butiran agregat dari ukuran yang terbesar sampai terhalus agar

rongga udara terkontrol dengan baik. Jumlah aspal yang ditambahkan tergantung dari rongga udara yang dikehendaki sesuai dengan kondisi lalu lintas dan iklim yang ada.

Pengujian untuk campuran aspal panas (*Hot mix*) dengan *Asphalt Marshall*, bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal. Ketahanan stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis (dalam Kg), yaitu keadaan dimana terjadi perubahan bentuk campuran aspal akibat beban sampai batas runtuh (dalam mm).

## 2.6. Formula Perhitungan

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas (AASHTO) adalah sebagai berikut :

### 1. Berat Jenis Bulk dan *Apparent* Total Agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/*filler* yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (*bulk spesific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent grafty*). Setelah didapatkan Kedua macam berat jenis pada masing-masing agregat pada pengujian material agregat maka berat jenis dari total agregat tersebut dapat dihitung dalam persamaan berikut:

#### a. Berat jenis kering (*bulk spesific gravity*) dari total agregat

$$G_{sbtotagregat} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \quad \text{-----} \quad (1)$$

Keterangan:

$G_{sbtot}$  agregat : Berat jenis kering agregat gabungan, (gr/cc)

$G_{sb1}, G_{sb2}..G_{sb}$  : Berat jenis kering dari masing-masing agregat1, 2,3..n, (gr/cc)

$P_1, P_2, P_3, ....$  : Prosentase berat dari masing-masing agregat, (%)

#### b. Berat jenis semu (*apparent spesific gravity*) dari total agregat

$$G_{sbtotagregat} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{s\partial 1}} + \frac{P_2}{G_{s\partial 2}} + \frac{P_3}{G_{s\partial 3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{s\partial n}}} \quad \text{-----} \quad (2)$$

Keterangan:

$G_{satot}$  agregat : Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)



$G_{sa1}, G_{sa2} \dots G_{san}$  : Berat jenis semu dari masing-masing agregat 1,2,3..n, (gr/cc)

$P_1, P_2, P_3, \dots$  : Prosentase berat dari masing-masing agregat.

## 2. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis maksimum campuran ( $G_{mm}$ ) diukur dengan AASHTO T.209-90, maka berat jenis efektif campuran ( $G_{se}$ ), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat dihitung dengan rumus berikut yang biasanya digunakan berdasarkan hasil pengujian kepadatan maksimum teoritis.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm} P_b}{P_{mm} G_b}} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

$G_{se}$  : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

$G_{mm}$  : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

$P_{mm}$  : Persen berat total campuran (=100)

$P_b$  : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)

$P_s$  : Proporsi agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

$G_b$  : Berat jenis aspal

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan juga dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

$G_{se}$  : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

$G_{sb}$  : Berat jenis kering agregat / *bulk spesific gravity*, (gr/cc)

$G_{sa}$  : Berat jenis semu agregat / *apparent spesific gravity*, (gr/cc)

### 3. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, Gmm pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASTO T 209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat). Selanjutnya Berat Jenis Maksimum (Gmm) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (Gse) rata-rata sebagai berikut:

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \quad \text{-----} (5)$$

Keterangan:

Gmm : Berat jenis maksimum campuran, (gr/cc)

Pmm : Persen berat total campuran (=100)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)

Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal, (gr/cc)

### 4. Berat Jenis Bulk Campuran Padat

Perhitungan berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (Gmb) dinyatakan dalam gram/cc dengan rumus sebagai berikut :

$$Gmb = \frac{Wa}{Vbulk} \quad \text{-----} (6)$$

Keterangan:

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan, (gr/cc)

Vbulk : Volume campuran setelah pemadatan, (cc)

Wa : Berat di udara, (gr)

## 5. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal ( $P_{ba}$ ) adalah sebagai berikut:  $P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}}$  ----- (7)

Keterangan:

$P_{ba}$  : Penyerapan aspal, persen total agregat (%)

$G_{sb}$  : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

$G_{se}$  : Berat jenis efektif agregat, (gr/cc)

$G_b$  : Berat jenis aspal, (gr/cc)

## 6. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif ( $P_{be}$ ) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus Kadar aspal efektif adalah :

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s \text{ ----- (8)}$$

Keterangan:

$P_{be}$  : Kadar aspal efektif, persen total campuran, (%)

$P_b$  : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

$P_{ba}$  : Penyerapan aspal, persen total agregat, (%)

$P_s$  : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

## 7. Rongga di antara mineral agregat (*Void in the Mineral Agregat/VMA*)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* ( $G_{sb}$ ) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total.

Perhitungan VMA terhadap campuran adalah dengan rumus berikut:

a. Terhadap Berat Campuran Total

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Fs}{Gsb} \text{ ----- (9)}$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

b. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \left( \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{100 + Pb} \times 100 \right) \text{ ----- (10)}$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

Pb : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

8. Rongga di dalam campuran (*Void In The Compacted Mixture/ VIM*)

Rongga udara dalam campuran (Va) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VMA = 100 \times \left( \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) \text{ ----- (11)}$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

9. Rongga udara yang terisi aspal (*Voids Filled with Bitumen/ VFB*)

Rongga terisi aspal (VFB) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rongga terisi aspal dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VMA = \left( \frac{100(VMA - VIM)}{VMA} \right) \text{ ----- (12)}$$

Keterangan:

VFB : Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA, (%)

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%).

10. Stabilitas

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat *Marshall*. Selain itu pada umumnya alat *Marshall* yang digunakan bersatuan Lbf (*pound force*), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji.

11. *Flow*

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas seperti di atas nilai *flow* berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja untuk alat uji jarum dial *flow* biasanya sudah dalam satuan mm (milimeter), sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut.

12. Hasil Bagi *Marshall*

Hasil bagi *Marshall/Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan keelehan. Sifat *Marshall* tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = \frac{MQ}{MF} \text{ ----- (13)}$$

Keterangan:

MQ : *Marshall Quotient*, (kg/mm)

MS : *Marshall Stabilit,y* (kg)

MF : *FlowMarshall* (mm)

## 2.7. Anova Dua Arah (Two-Ways Anova)

*Analysis of variance* atau yang Anova adalah uji yang dilakukan untuk menganalisis perbedaan lebih dari 2 populasi kelompok yang independent. Metode ini sering digunakan pada penelitian terutama dengan rancangan penelitian yang memiliki implikasi pengambilan keputusan untuk menggunakan teknologi baru, prosedur - prosedur baru, ataupun kebijakan - kebijakan baru. Pada awalnya teknik Anova digunakan pada penelitian pertanian (*agricultural research*). Akan tetapi saat ini metode anova telah dikembangkan sebagai metode untuk menganalisis masalah-masalah ilmiah lainnya.

Metode ini disebut analisis varian sebab peneliti akan menentukan apakah menerima atau menolak hipotesis mengenai rata-rata populasi yang berarti sama dengan menganalisis variasi (varian) didalam rata-rata cuplikan. Anova dibentuk atas dasar cuplikan-cuplikan acak sederhana yang ditarik secara bebas, sebuah dari setiap populasi. Metode itu beranggapan bahwa populasi-populasi disebarkan secara normal dan memiliki varian - varian yang sama.

Anova bertujuan untuk menganalisis variasi dari sebuah response dan untuk menentukan bagian daripada variasi ini bagi setiap kelompok variabel bebas. Variabel-variabel jawaban berbeda-beda dikarenakan oleh suatu variasi di dalam kelompok variabel bebas yang diketahui. Tujuan daripada analisis varian sendiri yaitu untuk menempatkan variabel - variabel bebas didalam suatu studi dan untuk mengetahui apakah mereka berinteraksi dan saling mempengaruhi (Mendenhall, & Reinmuth, 1982; hlm. 542).

Anova atau yang sering disebut juga uji-F yang dipakai dalam pengujian hipotesis ini adalah apabila rata-rata dari kelompok bagian sangat berbeda sehingga variansi kombinas dari seluruh kelompok jauh lebih besar dari variansi masing-masing



kelompok bagian. Dengan kata lain, uji F merupakan perbandingan *Variance between means* oleh *variance within groups*. Asumsi pengujian ANOVA:

1. Populasi yang akan diuji berdistribusi normal
2. Varians/ragam dan populasi yang diuji sama
3. Sampel tidak berhubungan satu dengan yang lain

Tujuan dan pengujian Anova adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh dan berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan. Adapun Anova yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu anova dua arah (Two-Way Anova) karena terdapat 2 variabel bebas yang ditinjau. Hasil akhir yang didapatkan adalah nilai f hitung. Nilai tersebut dibandingkan dengan nilai dalam tabel f pada derajat kebebasan tertentu (degree of freedom), seperti berikut:

- 1) Bila  $F_{\text{Hitung}} < F_{\text{tabel}}$ , maka  $H_0$  diterima, yang berarti rata-rata kedua perlakuan tidak berbeda secara signifikan, dan
- 2) Bila  $F_{\text{Hitung}} > F_{\text{tabel}}$ , maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, yang berarti rata-rata kedua perlakuan berbeda secara signifikan.

## 2.8. Uji Duncan (DMRT)

Uji Duncan adalah uji lanjutan untuk mengetahui nilai tengah mana saja yang sama dan nilai tengah mana saja yang tidak sama ketika pengujian kehomogenan beberapa nilai tengah memberikan hasil menolak hipotesis nol dan menerima hipotesis alternatif. Uji Duncan atau juga dikenal dengan istilah *Duncan Multile Range Test* (DMRT) memiliki nilai kritis yang tidak tunggal tetapi mengikuti urutan rata-rata yang dibandingkan. Nilai kritis uji Duncan dinyatakan dalam nilai least significant range (wilayah nyata terkecil)  $R_p$  yang dirumuskan sebagai berikut.

$$R_p = r_{\alpha, p, v} S_{\tilde{Y}}$$

$$S_{\tilde{Y}} = \sqrt{\frac{KTG}{r}}$$

Dimana:

$R_p$  = Wilayah nyata terkecil Duncan.

KTG = Kuadrat tengah galat

$r$  = Ulangan

$r_{\alpha,p,v}$  = nilai nyata duncan

$p$  = jarak (2, 3, ..t)

$\alpha$  = taraf nyata

$v$  = derajat bebas

## 2.9. Hasil Studi Terdahulu

Rancangan pada penelitian ini didasari oleh beberapa penelitian yang dilakukan sebelumnya. Dari Penelitian yang dilakukan oleh Avista C. dan Asti R., Nizar R. dan Rachmad R. B., Sofyan M. S. dan Renny A. serta Fenny P. dan Fita A., digunakan rancangan variasi kadar aspal yaitu 4%, 5%, 6% dan 7%. Sedangkan dari penelitian yang dilakukan oleh Roberto Colia digunakan variasi kadar serabut kelapa 0%, 0,5%, 1,25% dan 1,5%, dikatakan bahwa hasil pengujian stabilitas Marshall mengalami peningkatan dengan menggunakan kadar serabut kelapa 0,75%.

Berdasarkan studi yang pernah dilakukan sebelumnya oleh Sigit Pranoyo H. dengan mencampurkan aspal dengan serabut kelapa pada variasi kadar 0,5%, 0,75%, 1% dan 1,25% serta panjang 5mm, 7,5mm, 10mm, dan 12,5mm, dapat diketahui bahwa penambahan serabut kelapa 0,75% dengan panjang 5mm meningkatkan nilai stabilitas Marshall 10-15%. Pada penelitian kali ini, dilakukan pencampuran serabut kelapa pada campuran aspal porus dengan variasi kadar serabut kelapa 0,5%, 0,75% dan 1% dengan panjang yang lebih kecil yaitu 2,5mm.

Tabel 2.18 Hasil Studi Terdahulu

	Jenis Lapisan	Jenis Penelitian	Filler	Zat Additive	Aspal	Suhu	Rancangan Penelitian	Hasil	Rancangan
<b>Avista Candra Dewi dan Asti Ratriadianti (2016)</b>	Aspal Porus	Skripsi	Serbuk Kayu Jati		Pen. 60/70	200	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menggunakan kadar aspal 4%, 5%, 6% dan 7%</li> <li>Menggunakan KAO + Serbuk Kayu Jati 4%, 5%, 6% + Suhu Waterbath 45, 60, 75</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nilai VIM, Stabilitas Marshall, flow dan MQ tidak mempengaruhi</li> <li>Suhu waterbath tidak mempengaruhi karakteristik Marshall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menggunakan kadar aspal 4%, 5%, 6% dan 7%</li> </ul>
<b>Roberto Colia (2013)</b>	AC_WC	Skripsi	Serabut Kelapa		Pen. 60/70	30°C, 45°C, 60°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limbah sabut kelapa ditambahkan pada aspal pen 60/70 dengan persentase 0%; 0,75% dan 1,5% terhadap berat aspal.</li> <li>Dilakukan pengujian Wheel Tracking Machine pada suhu 30 C, 45 C, 60 C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hasil pengujian Marshall dan Wheel Tracking Machine memperlihatkan terjadinya peningkatan stabilitas dan ketahanan terhadap nilai deformasi pada persentase limbah sabut kelapa 0,75%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limbah sabut kelapa ditambahkan pada aspal pen 60/70 dengan persentase 0%; 0,5%; 0,75%; 1,25% dan 1,5% terhadap berat aspal.</li> </ul>

	Jenis Lapisan	Agregat	Filler	Zat Additive	Aspal	Suhu	Rancangan Penelitian	Hasil	Rancangan
<b>Nizar Ramadhan dan Rachmad Reza B. (2014)</b>	Aspal Porus	Skripsi		Gilsonite	Pen 60/70		<ul style="list-style-type: none"> <li>Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6%, 7% dari berat agregat</li> <li>Variasi zat additive Gilsonite 6%, 7%, 8%, 9% dan 10%</li> <li>Suhu Waterbath 55,60,65,70,70,75</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nilai Stabilitas mengalami peningkatan</li> <li>Nilai flow mengalami penurunan ketika menggunakan Gilsonite</li> <li>Pada suhu waterbath 70 dan 75, karakteristik Marshall stabilitas dan flow menurun</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6% dan 7%</li> </ul>
<b>Sofyan M. Saleh, Renni Anggraini dan Hesty Aquina (2014)</b>	Aspal Porus	Jurnal	Styrofoam		Pen. 60/70		<ul style="list-style-type: none"> <li>Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% sebelum distribusi styrofoam.</li> <li>Menggunakan KAO + variasi kadar styrofoam (5%, 7%, 9%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diperoleh nilai KAO sebesar 5,76%.</li> <li>Nilai Stabilitas hanya 495,76 kg, dibawah spesifikasi yang disyaratkan Australian Asphalt pavement Association yaitu minimum 500 kg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6% dan 7%</li> </ul>

	Jenis Lapisan	Agregat	Filler	Zat Additive	Aspal	Suhu	Rancangan Penelitian	Hasil	Rancangan
<b>Fenny Putri dan Fita Ariyanti (2013)</b>	Aspal Porus	Skripsi		Wetfix-Be	Pen. 60/70		<ul style="list-style-type: none"> <li>Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6%, 7% dari KAO.</li> <li>Menggunakan KAO + zat additive Wetfix-Be dengan kadar 0,2%, 0,3% 0,4% dan 0,5%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Penambahan zat additive Wetfix-Be tidak begitu berpengaruh terhadap peningkatan nilai stabilitas perkerasan aspal porus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menggunakan variasi kadar aspal 4%, 5%, 6%, 7% dari KAO.</li> </ul>
<b>Sigit Pranoyo H (2013)</b>	AC-WC	Jurnal	Serabut Kelapa		Pen. 60/70		<ul style="list-style-type: none"> <li>Menggunakan variasi panjang serabut kelapa 5mm, 7,5mm, 10mm dan 12,5mm.</li> <li>Menggunakan variasi berat serabut kelapa 0,5%, 0,75%, 1%, 1,25% dan 1,5% dari berat aspal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Penambahan serabut kelapa 0,75% dengan panjang 5mm meningkatkan nilai stabilitas Marshall 10-15%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menggunakan variasi panjang serabut kelapa 5mm, 7,5mm, 10mm dan 12,5mm.</li> <li>Menggunakan variasi berat serabut kelapa 0,5%, 0,75%, 1%, 1,25% dan 1,5% dari berat aspal.</li> </ul>

## 2.10. Hasil Uji Pendahuluan

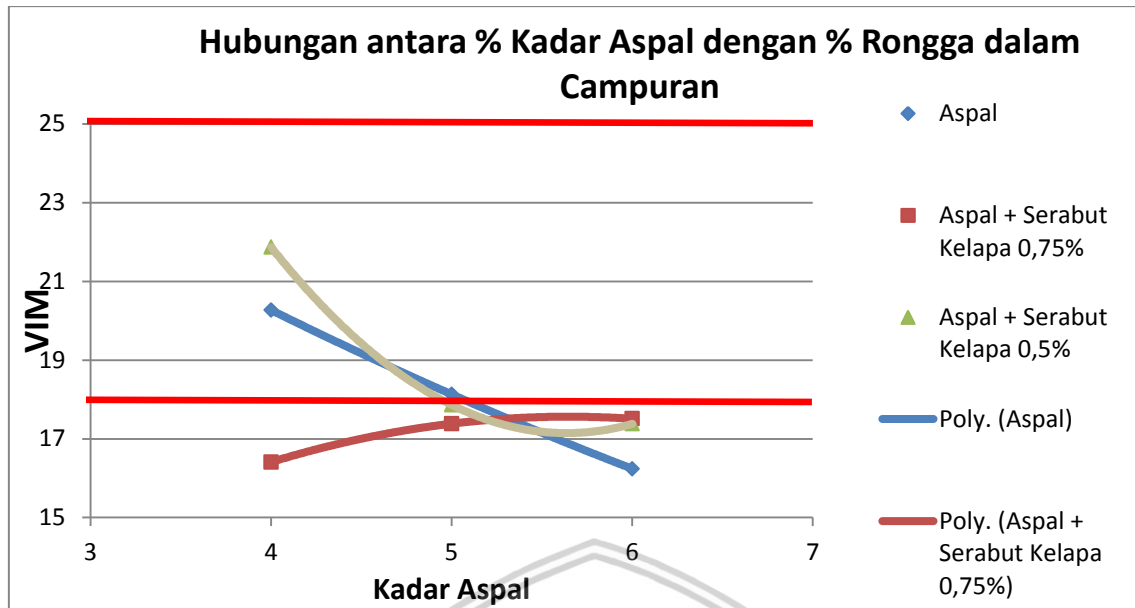
Tabel 2.19 Hasil Uji Pendahuluan

Kriteria Perencanaan	Nilai	Aspal Asli			Aspal + Serabut Kelapa 0,75%			Aspal + Serabut Kelapa 0,5%		
		4%	5%	6%	4%	5%	6%	4%	5%	6%
Uji Cantabro Loss (%)	Maks. 35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uji Aliran Aspal Kebawah (%)	Maks. 0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadar Rongga di Dalam Campuran (VIM %)	18 - 25	20.27	18.13	16.24	16.41	17.39	17.51	21.87	17.86	17.38
Stabilitas Marshall (kg)	Min. 500	388.32	400.46	412.6	414.15	567.98	590.438	412.62	565.35	374.26
Kelelehan Marshall (mm)	2 - 6	3.24	2.36	3.02	2.6	2.15	2.9	2.25	2.65	2.95
Kekakuan Marshall (kg/mm)	Maks. 400	112.56	142.21	181.12	229.64	262.74	251.25	219	230.94	269.09
Jumlah Tumbukan Perbidang	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Sumber: *Australian Asphalt Pavement, 2004 dan uji pendahuluan*

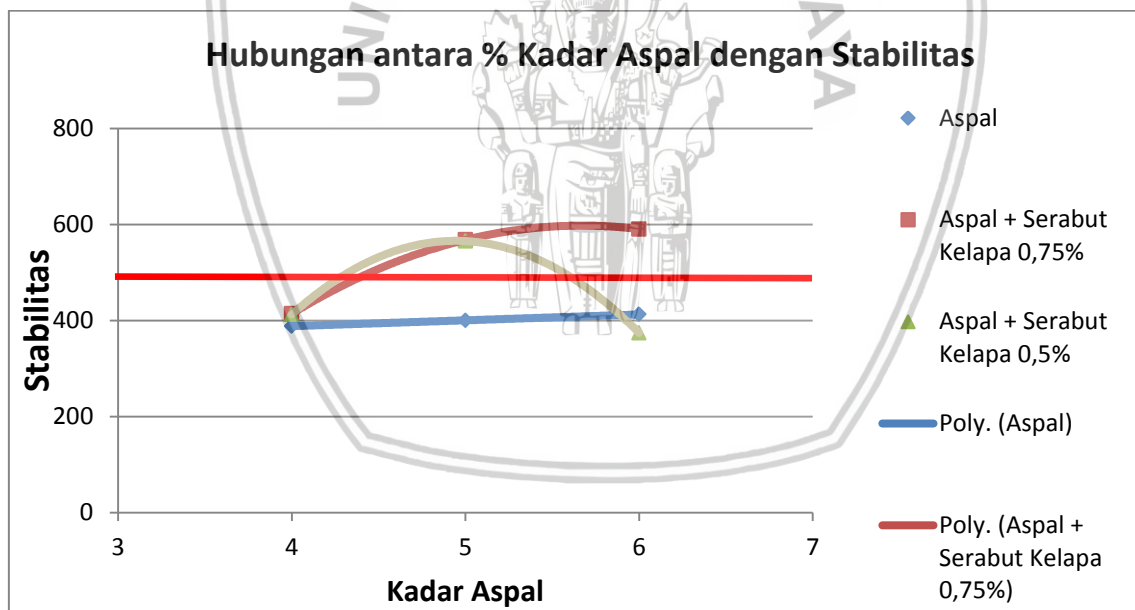






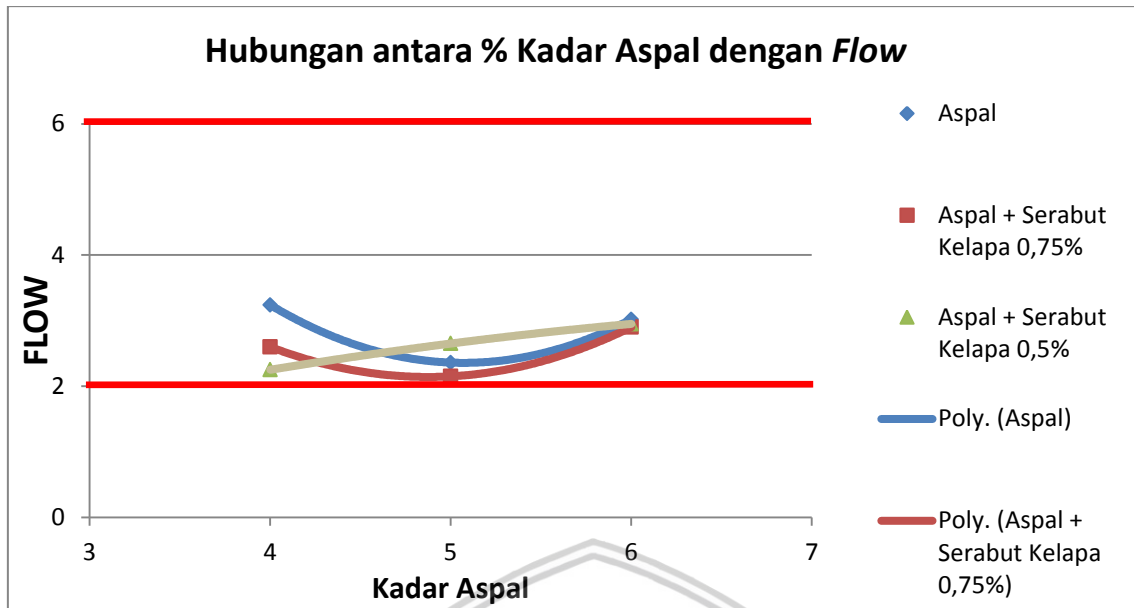
**Gambar 2.13** Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VIM

Sumber: Uji pendahuluan



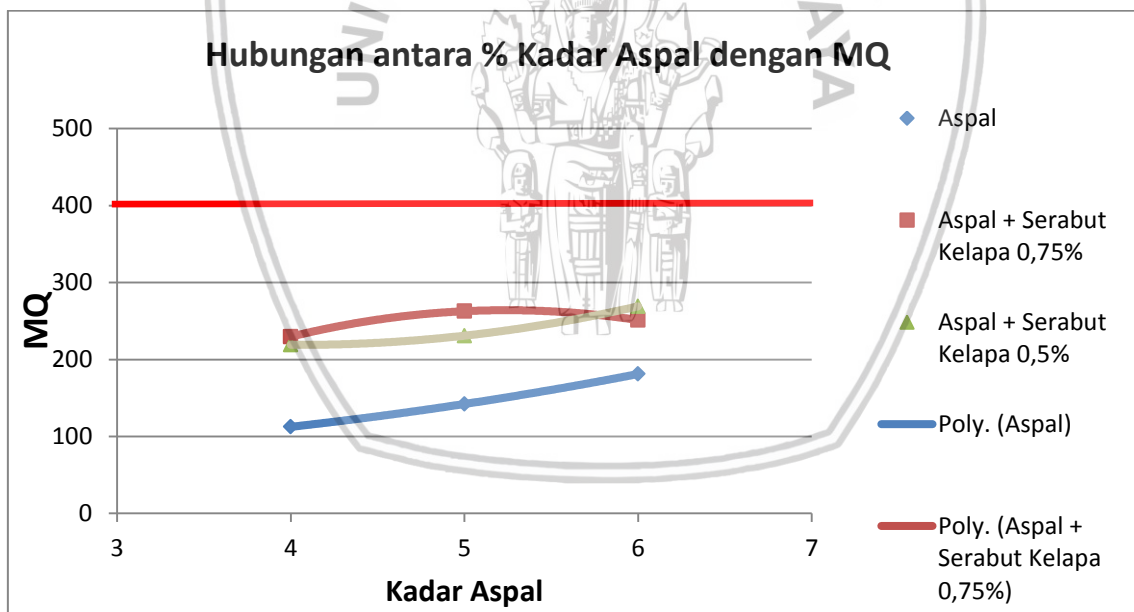
**Gambar 2.14** Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Sumber: Uji pendahuluan



**Gambar 2.15** Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Flow

Sumber: Uji pendahuluan



**Gambar 2.15** Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kekakuan Marshall (MQ)

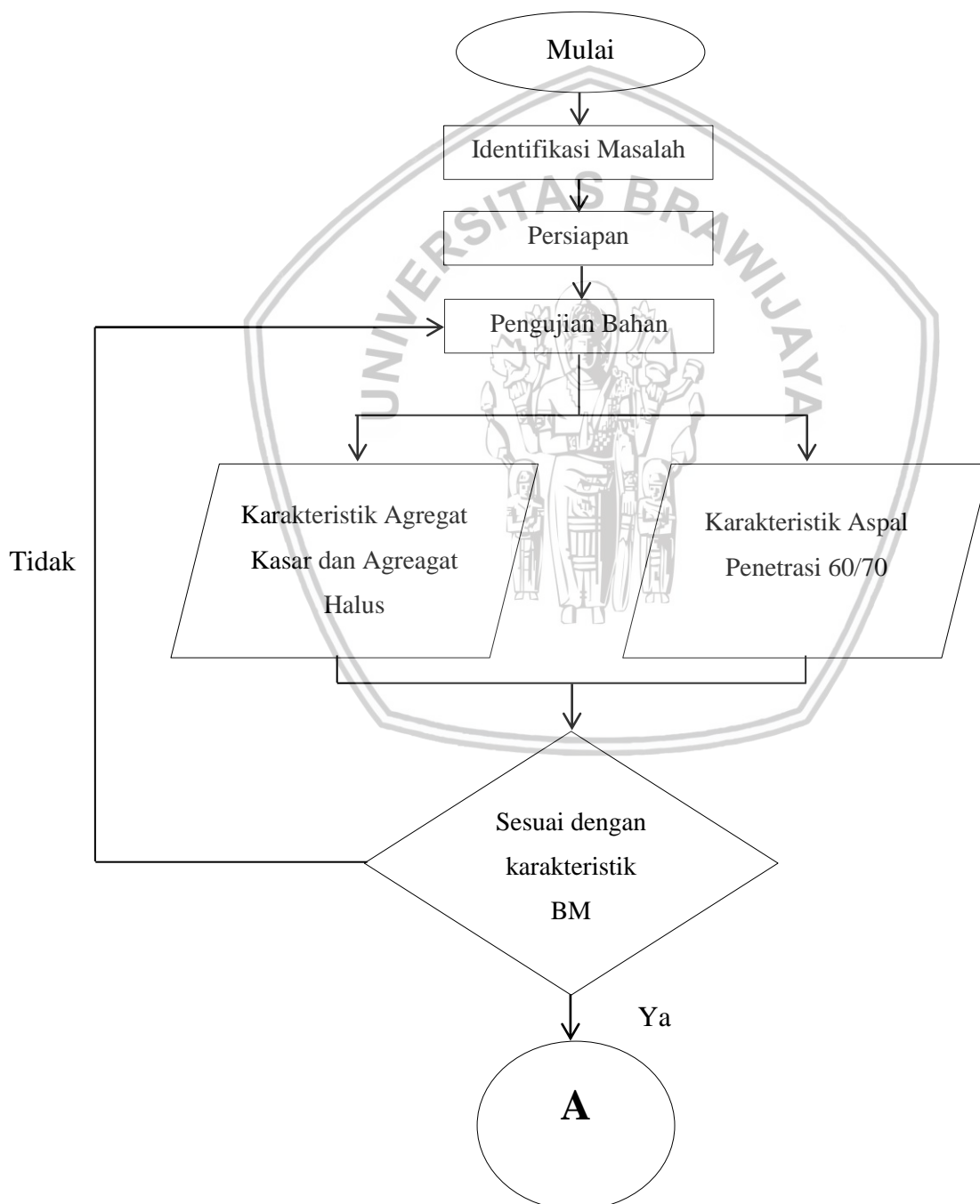
Sumber: Uji pendahuluan

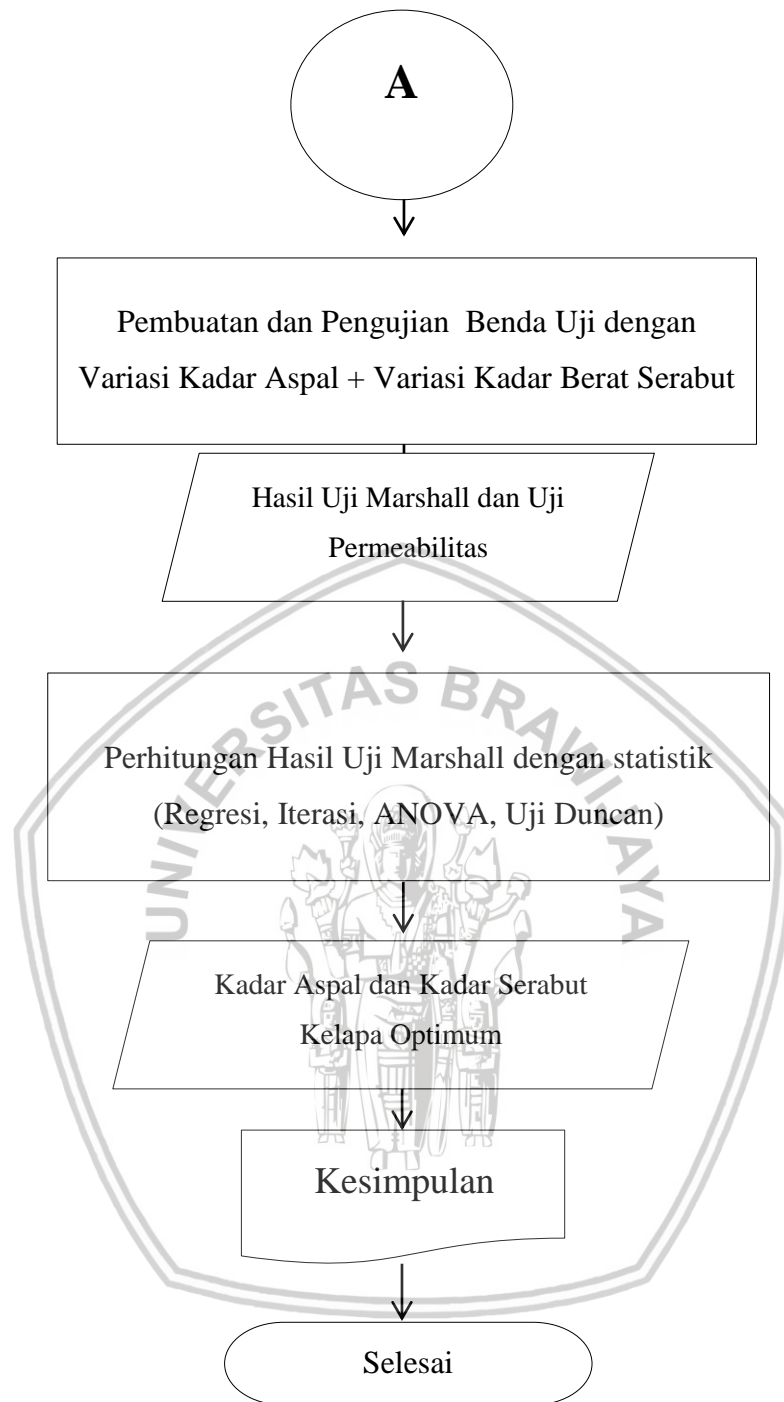
## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah kegiatan yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut:





**Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian**

### **3.2 Tempat dan Waktu Penelitian**

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Penginderaan Jauh, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Brawijaya.

### 3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode perlakuan tiga macam variasi kadar aspal, tiga macam kadar serabut kelapa, dengan tiga perulangan untuk setiap perlakuan. Sebagai kontrol dibuat benda uji dengan kadar aspal 4%, 5%, dan 6%.

Pembuatan benda uji digunakan untuk mencari kadar aspal optimum dengan beberapa variasi kadar aspal untuk mengetahui VIM, VMA, *Flow*, MQ dan Stabilitas dari masing-masing variasi. Banyaknya benda uji yang dibuat dapat ditentukan dengan rumus berikut (Suharto, 2004) :

$$(r - 1) \times (t - 1) \approx 15$$

Dimana:

$r$  = Replikasi atau perulangan

$t$  = *Treatment* atau perlakuan

Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi kadar aspal, tiga variasi kadar serabut kelapa dan tiga variasi suhu waterbath. Sehingga jumlah *treatment* adalah 27, maka:

$$(r - 1) \times (t - 1) \approx 15$$

$$(r - 1) \times (27 - 1) = 15$$

$$27r - 1r - 27 + 1 = 15$$

$$26r - 27 = 15$$

$$r = (15 + 27)/27$$

$$r = 1,3 \approx 2 \text{ benda uji}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan benda uji minimal adalah dua buah. Pada penelitian ini digunakan benda uji sebanyak tiga buah, karena jika benda uji satu dan dua menghasilkan data yang berbeda jauh, maka benda uji ketiga dapat digunakan sebagai pembandingan pendekatan data. Jumlah benda uji digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:



**Tabel 3.1** Jumlah Benda Uji

<b>Kadar Serabut Kelapa (%)</b>	<b>Kadar Aspal</b>		
	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>
<b>0,5</b>	3 buah	3 buah	3 buah
<b>0,75</b>	3 buah	3 buah	3 buah
<b>1</b>	3 buah	3 buah	3 buah

Sumber : Hasil Penelitian

Variasi berat serabut kelapa pada penelitian ini didasari oleh penelitian sebelumnya (Sigit Pranowo, 2013) yang menggunakan variasi berat serabut kelapa 0,5% - 1,5% dengan nilai optimum berat serabut kelapa 0,75%.

#### Variabel Bebas

- Kadar Aspal 4%, Kadar Aspal 5%, Kadar Aspal 6%, Kadar Serabut Kelapa 0,5%, Kadar Serabut Kelapa 0,75%, Kadar Serabut Kelapa 1%.

#### Variabel Terikat

- Berat Jenis Campuran Beton Aspal, nilai stabilitas, nilai kelelehan (*flow*), nilai VFB, nilai VIM, nilai VMA, nilai *Marshall Quotient* (MQ) dan nilai kepadatan (*density*).

### 3.4 Bahan-Bahan Penelitian

Material yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Aspal  
Aspal yang digunakan adalah aspal yang mempunyai nilai penetrasi sebesar 60/70.
2. Agregat  
Agregat yang digunakan adalah agregat yang berasal dari daerah Malang dan sekitarnya.
3. Serabut Kelapa  
Serabut kelapa didapat dari Lokasi Industri di daerah Malang dan sekitarnya.

### 3.5 Pengujian Material

Adapun pengujian bahan dasar yang akan dilakukan adalah :

#### 1. Aspal

- a. Pengujian penetrasi aspal
- b. Percobaan pemeriksaan titik lembek aspal
- c. Percobaan pemeriksaan titik nyala dan titik bakar aspal
- d. Pemeriksaan daktilitas aspal
- e. Pemeriksaan berat jenis aspal

Peralatan yang digunakan untuk pengujian aspal:

- a. Seperangkat alat uji penetrasi
- b. Seperangkat alat uji titik nyala dan titik bakar
- c. Seperangkat alat uji titik lembek
- d. Seperangkat alat uji berat jenis aspal (piknometer dan timbangan)
- e. Stopwatch

#### 2. Agregat

Pada bahan dasar agregat dilakukan pengujian :

- a. Percobaan analisa saringan agregat
- b. Pengujian keausan agregat menggunakan alat abrasi Los Angeles (*Los Angeles Abrasion Test*)
- c. Pemeriksaan uji kekuatan terhadap tumbukan
- d. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat
- e. Pemeriksaan indeks kepipihan dan kelonjongan

Peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat :

1. Saringan standar dengan ukuran 3/4", 1/2", 3/8", no. 4, no. 8, no. 16, no. 30, no. 50, no. 100, no. 200 dan PAN.
2. Mesin Los Angeles (tes abrasi)
3. *Aggregate Impact Machine*
4. Seperangkat alat pemeriksaan berat jenis agregat kasar dan agregat halus (piknometer, timbangan dan pemanas)
5. Bak perendam
6. Tabung *sand equivalent*

7. Kuas, wadah, alat pengering (oven)

### 3.6 Pembuatan Benda Uji

Sebelum melakukan pencampuran, dalam penelitian ini dilakukan pengujian bahan yang akan digunakan, apakah memenuhi spesifikasi atau tidak. Kemudian dilanjutkan dengan membuat benda uji dengan kadar aspal yang sudah ditentukan yaitu 4%, 5%, dan 6% dengan variasi kadar serabut Kelapa 0,5%, 0,75% dan 1,0% seperti yang sudah dijelaskan pada tabel 3.1. Kemudian dilakukan pengujian *Marshall* dan analisa untuk menentukan kadar aspal optimum.

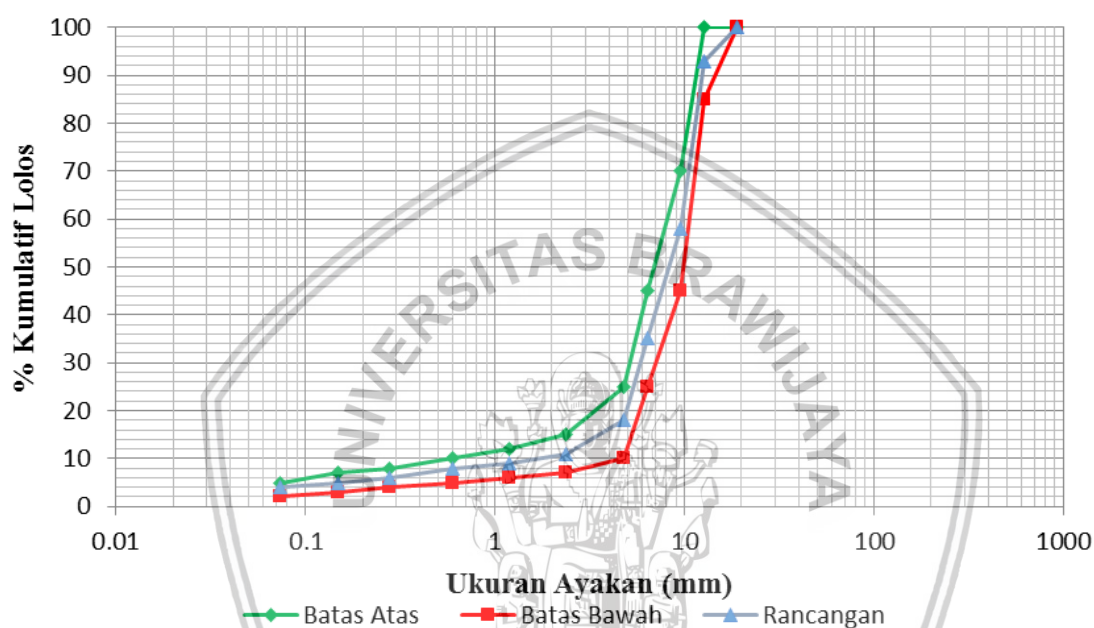
Gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi Australia. Dikarenakan pada penelitian terdahulu, gradasi Australia memiliki nilai stabilitas yang paling baik dibandingkan dengan gradasi yang lain.

**Tabel 3.2 Rancangan Gradasi Aspal Porus Standar Australia**

Ukuran Ayakan (mm)	Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)	Rancangan (%)	Berat Agregat (%)
19	100	100	100	0
12,7	100	85	93	63
9,53	70	45	58	315
6,35	45	25	35	207
4,76	25	10	18	153
2,38	15	7	11	63
1,19	12	6	9	18
0,595	10	5	8	9
0,279	8	4	6	18
0,149	7	3	5	9
0,075	5	2	4	9

Ukuran Ayakan (mm)	Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)	Rancangan (%)	Berat Agregat (%)
PAN			0	36
<b>TOTAL</b>				900

Sumber: Australian Asphalt Pavement Association, 2004



**Gambar 3.2** Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Menggunakan Standar Australia

Spesifikasi Gradasi Agregat Aspal Porus Menggunakan Standar Australia. Dalam pembuatan benda uji diperlukan beberapa macam peralatan seperti :

1. Tiga buah cetakan benda uji yang berdiameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm lengkap dengan pelat atas dan leher sambung.
2. Alat pengeluar benda uji. Untuk benda uji yang sudah dipadatkan dalam cetakan benda uji dipakai sebuah alat *ekstruder*.
3. Mesin penumbuk manual atau otomatis lengkap dengan penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm. Seperti pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Automatic Asphalt Compactor

4. Alat pengujian *Marshall* lengkap dengan dial, seperti pada Gambar 3.4



**Gambar 3.4** Alat Uji *Marshall*

5. Oven yang dilengkapi dengan pengatur yang mampu memanaskan sampai suhu  $200^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ )
6. Bak perendam (*waterbath*), seperti Gambar 3.5



**Gambar 3.5** Bak Perendam (*Waterbath*)

7. Pengukur suhu (thermometer)
8. Jangka sorong
9. Perlengkapan lain :
  - a. Panci-panci untuk memanaskan agregat.
  - b. Sendok pengaduk dan perlengkapan lain.
  - c. Kompor dan alat pemanas.
  - d. Sarung tangan dari asbes dan sarung tangan dari karet dan pelindung pernafasan atau masker.
  - e. Kompor gas elpiji atau listrik.

Langkah-langkah pembuatan benda uji meliputi :

**a. Tahap I**

1. Mempersiapkan agregat sesuai dengan campuran yang akan digunakan. Ukuran saringan yang digunakan yaitu :

3/4" ( 19,00 mm )

1/2" ( 12,70 mm )

3/8" ( 9,530 mm )

1/4" ( 6,350 mm )

No. 4 ( 4,760 mm )

No. 8 ( 2,380 mm )

No. 16 ( 1,190 mm )

No. 30 ( 0,595 mm )

No. 50 ( 0,297 mm )

No. 100 ( 0,149 mm )

No. 200 ( 0,074 mm )

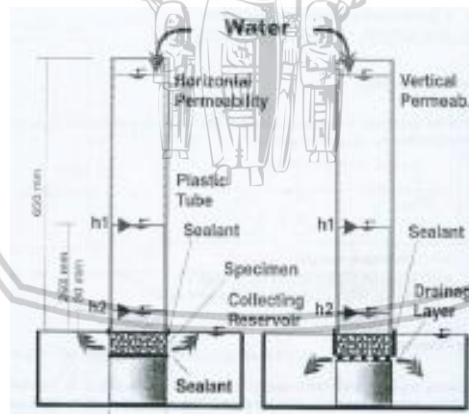
PAN



2. Memanaskan agregat dan aspal sampai suhu tertentu untuk aspal 140°C - 160°C sedangkan untuk pemanasan agregat maksimal 15° diatasnya. Sehingga ditentukan suhu pemanasan aspalnya adalah 160°C dan suhu pemanasan agregatnya adalah 160°C.
3. Pada suhu pemanasan aspal 140°C - 160°C dilakukan pencampuran kadar aspal 4%, 5%, dan 6% serta variasi kadar serabut kelapa 0,5%, 0,75% dan 1,0%.
4. Pada suhu yang telah ditentukan, agregat yang telah dipanaskan dicampur dengan aspal dengan komposisi tertentu sampai rata.
5. Campuran dipadatkan dengan *Marshall Compaction* pada suhu 150°C, dengan jumlah pukulan sebanyak 2 x 50 pukulan.
6. Setelah didinginkan, benda uji didiamkan selama 24 jam di dalam mold.
7. Kemudian dilakukan pengujian Permeabilitas dan pengujian *Marshall*.

### 3.7 Pengujian Permeabilitas

Berbagai persiapan benda uji, peralatan dan langkah percobaan *falling head* mengacu pada bab tinjauan pustaka tentang pengujian permeabilitas. Skema percobaan *falling head* ditunjukkan pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6 Skema Percobaan *falling head***

Sumber: [www.puslit2.petra.co.id](http://www.puslit2.petra.co.id)

Variabel yang mempengaruhi kecepatan permeabilitas antara lain tinggi benda uji, beda tekan aliran air, dan luas penampang. Perhitungan nilai permeabilitas pada percobaan *falling head* dapat dituliskan pada persamaan 3-1 :

$$k = 2,3 \frac{aL}{At} \times \left[ \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \right] \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

Dimana :

- k = Koefisien permeabilitas air (cm/s),  
a = Luas potongan melintang tabung (cm<sup>2</sup>)  
L = Tebal spesimen (cm),  
A = Luas potongan specimen (cm<sup>2</sup>)  
t = Waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari h<sub>1</sub> ke h<sub>2</sub> (s)  
h<sub>1</sub> = Tinggi batas air paling atas pada tabung (cm)  
h<sub>2</sub> = Tinggi batas air paling bawah pada tabung (cm)

Pada persyaratan standar Australia, dikatakan memenuhi syarat apabila kecepatan infiltrasi pada aspal porus (k) memiliki nilai > 0,1cm/detik.

### 3.8 Pengujian Marshall Standar

Pengujian pada tahap ini untuk mendapatkan data guna menentukan kadar optimum aspal, permeabilitas, stabilitas dan *flow*. Tahapan pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menimbang masing-masing benda uji dan mengukur tinggi benda uji,
2. Merendam benda uji dalam air selama 30-40 menit pada suhu 60°C,
3. Mengeluarkan benda uji dari bak perendam dan meletakkannya ke segmen bagian bawah kepala penekan dengan catatan waktu yang diperlukan dari saat pengangkatan benda uji dari bak perendam sampai beban maksimum tidak boleh lebih dari 30 detik,
4. Memasang segmen atas di atas dan meletakan keseluruhan dalam mesin penguji,
5. Memasang arloji pengukur pelelehan (*flow*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan,
6. Mengatur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol,
7. Memberikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum atau stabilitas (*stability*) yang dicapai, koreksi bebannya dengan menggunakan faktor perkalian yang bersangkutan. Mencatat nilai pelelehan (*flow*) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai.

### 3.9 Pengolahan Data

#### 3.9.1 Analisis Data

##### 1. Metode Grafik Pita

Metode grafik pita adalah metode untuk mengetahui kadar optimum aspal dari sebuah campuran aspal dengan memodelkan variabel yang ingin diketahui menyerupai pita. Variabel yang diteliti pada grafik ini memiliki batasannya masing-masing yang nantinya batasan tersebut dijadikan acuan untuk diambil titik tengahnya sehingga didapatkan kadar aspal optimum yang diinginkan.

##### 2. Metode Grafik 3 Dimensi

Grafik 3 Dimensi merupakan proses pemodelan grafik dengan mengembangkan representasi matematika dari setiap tiga-dimensi. Grafik 3D memiliki 3 sumbu didalamnya yaitu sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z yang digabungkan menjadi satu kesatuan. Kelebihan grafik 3D ini yaitu bisa menampilkan interaksi antara 3 variabel yang dimodelkan dalam bentuk objek 3 dimensi.

#### 3.9.2 Hipotesa Statistik

Hasil pengujian *Marshall* menghasilkan stabilitas – *flow* dan juga menghasilkan *void in mineral agregat* (VMA), *void in the mix* (VIM) dan MQ. Dalam menganalisis data digunakan Analisis ragam (*Analysis of Variance*) atau yang lebih dikenal dengan ANOVA dan juga menggunakan analisis regresi. ANOVA yang dipergunakan yaitu ANOVA dua arah karena didasarkan pada pengamatan dua kriteria.

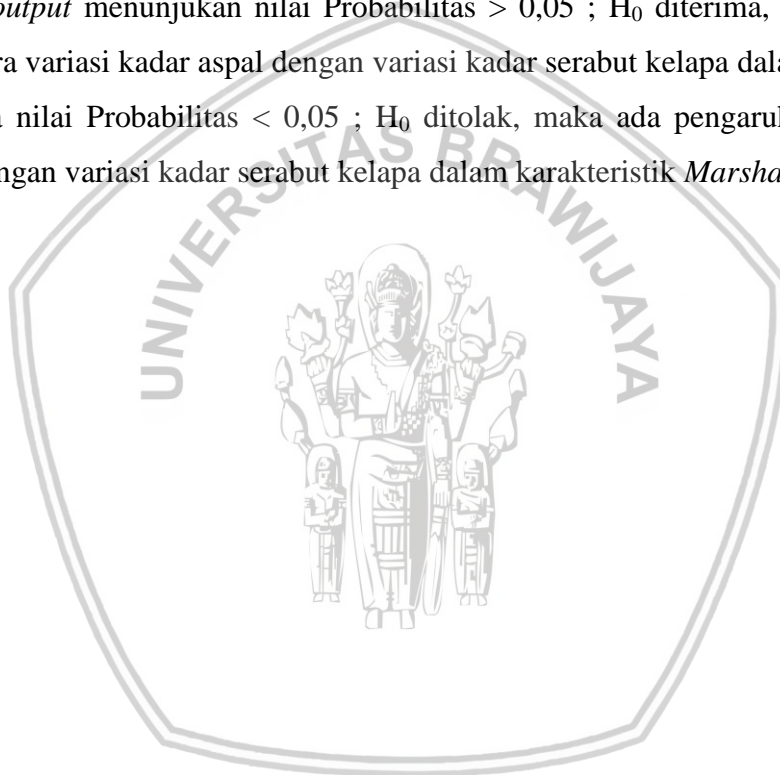
Beberapa hipotesis yang diuji sebagai berikut:

- $H_0^1 : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \dots = \mu\alpha_i$   
 $H_1^1 : \text{paling sedikit satu pasang } \mu\alpha_i \text{ yang tidak sama } \neq 0$
- $H_0^2 : \mu\beta_1 = \mu\beta_2 = \dots = \mu\beta_j$   
 $H_1^2 : \text{paling sedikit satu pasang } \mu\beta_j \text{ yang tidak sama } \neq 0$
- $H_0^3 : \mu\beta_1 = \mu\beta_2 = \dots = \mu\beta_{ij}$   
 $H_1^3 : \text{paling sedikit satu pasang } \mu\beta_{ij} \text{ yang tidak sama } \neq 0$

Dimana :

- $H_0$  = hipotesis nol, yang menyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh dari faktor komposisi agregat dan faktor kadar aspal atau interaksi keduanya terhadap parameter campuran aspal porus.
- $H_1$  = hipotesis alternatif, yang menyatakan bahwa terdapat pengaruh dari faktor komposisi agregat campuran limbah beton dan limbah marmer dengan faktor kadar aspal atau interaksi keduanya terhadap parameter campuran aspal porus.

Jika *output* menunjukkan nilai Probabilitas  $> 0,05$  ;  $H_0$  diterima, maka tidak ada pengaruh antara variasi kadar aspal dengan variasi kadar serabut kelapa dalam karakteristik *Marshall*. Jika nilai Probabilitas  $< 0,05$  ;  $H_0$  ditolak, maka ada pengaruh antara variasi kadar aspal dengan variasi kadar serabut kelapa dalam karakteristik *Marshall*.



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengujian Material

Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kualitas dari bahan yang akan digunakan, terdiri dari pemeriksaan aspal dan agregat sebagai pemeriksaan dasar untuk bahan pembuatan benda uji dan pemeriksaan benda uji dengan alat *Marshall* sebagai tujuan pokok penelitian.

##### 4.1.1 Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal Penetrasi 60/70, dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik pada bahan pengikat (*binder*) pada campuran aspal yang akan dibuat. Kriteria standar acuan pencampuran harus terpenuhi dengan sifat-sifat fisik hasil pengujian laboratorium. Dalam penelitian ini, digunakan serabut kelapa yang diharapkan dapat meningkatkan aspal dari segi karakteristik *Marshall*. Hasil pengujian dari sifat-sifat aspal Penetrasi 60/70 dapat dilihat pada Tabel 4.1, sebagai berikut :

**Tabel 4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70**

No	Uraian	Unit	Spesifikasi		Hasil	Keterangan
			Min.	Maks.		
1.	Penetrasi	mm	65	68	66,56	Memenuhi
2.	Titik Lembek	°C	48,5	49	48,75	Memenuhi
3.	Daktilitas	mm	100	-	>1500	Memenuhi
4.	Titik Nyala	°C	200	-	322	Memenuhi
5.	Titik Bakar	°C	200	-	332	Memenuhi
6.	Berat Jenis	gr/cc	1	-	1.034	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian dan Standar Bina Marga Untuk Agregat Pada Campuran Aspal Beton Panas

Dari Tabel 4.1, telah diperlihatkan bahwa sifat fisik aspal Penetrasi 60/70 yang akan digunakan pada penelitian ini telah memenuhi syarat yang ditentukan untuk campuran aspal porus.

#### 4.1.2 Pengujian Karakteristik Agregat

Agregat yang digunakan pada campuran aspal porus untuk penelitian ini merupakan agregat kasar dan agregat halus yang diambil di sekitar kota Malang, Jawa Timur. Perlu dilakukan pengujian terhadap agregat kasar dan halus tersebut untuk mengetahui sifat-sifat fisik pada masing-masing agregat tersebut. Pengujian karakteristik agregat dilaksanakan sesuai dengan metode dan persyaratan yang menjadi acuan pada penelitian ini. Hasil dari pengujian karakteristik agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, sebagai berikut :

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar Batu Pecah

No	Uraian	Unit	Spesifikasi		Hasil	Keterangan
			Min.	Maks.		
1.	Berat Jenis Curah	-	2.5	-	2.72	Memenuhi
2.	Berat Jenis SSD	-	-	-	2.75	Memenuhi
3.	Berat Jenis Semu	-	-	-	2.81	Memenuhi
4.	Penyerapan Air	%	-	3	1.2	Memenuhi
5.	Pengujian Los Angeles	%	-	40	14.86	Memenuhi
6.	Nilai Tumbukan	%	-	40	6.74	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian dan Standar Bina Marga Untuk Agregat Pada Campuran Aspal Beton Panas

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus Batu Pecah

No	Uraian	Unit	Spesifikasi		Hasil	Keterangan
			Min.	Maks.		
1.	Berat Jenis Curah	-	2.5	-		Memenuhi
2.	Berat Jenis SSD	-	2.5	-		Memenuhi
3.	Berat Jenis Semu	-	-	-		Memenuhi
4.	Penyerapan Air	%	-	3		Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian dan Standar Bina Marga Untuk Agregat Pada Campuran Aspal Beton Panas



## 4.2 Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini akan dibuat benda uji menggunakan kadar aspal sebesar 4%, 5% dan 6%. Benda dicampur dengan menggunakan variasi kadar serabut kelapa 0.5%, 0.75% dan 1% dengan suhu waterbath 60° dengan waktu 30 menit. Pembuatan benda uji sendiri meliputi persiapan bahan, pemanasan agregat, pencampuran agregat dengan aspal, pemadatan (*compact*). Pemanasan agregat dan aspal dilakukan bersamaan sampai temperatur mencapai 15°C - 20°C diatas temperature rencana. Serabut kelapa dicampur dengan aspal sebelum dipanaskan bersama agregat kemudian dicampur dengan agregat dan diaduk hingga rata. Pemadatan campuran dilakukan saat suhu pemadatan rencana yaitu 150°C dengan jumlah tumbukan 50 kali setiap tumbukan.

Variasi kadar aspal, variasi panjang dan berat serabut kelapa serta jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.4, sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Rancangan Pembuatan Benda Uji

Berat Serabut Kelapa (%)	Kadar Aspal		
	4%	5%	6%
0,5	3 buah	3 buah	3 buah
0,75	3 buah	3 buah	3 buah
1	3 buah	3 buah	3 buah

Sumber: Hasil Penelitian

Setelah benda uji dibuat kemudian dilakukan uji permeabilitas. Setelah pengujian permeabilitas lalu dilanjutkan dengan pengujian *Marshall*. *Marshall Testing Machine* merupakan alat yang digunakan untuk pengujian *Marshall* dimana nilai stabilitas dan *Flow* dapat dilihat melalui pembacaan pada *proving ring*. Nilai stabilitas yang sebenarnya dapat diketahui nilai sebenarnya setelah dikalibrasi 11,739 (faktor kalibrasi alat), dan kemudian dikoreksi lagi dengan angka korelasi beban.

Hasil analisis *Marshall* standart terhadap campuran menghasilkan nilai :

1. *Void In Mixture* (VIM)
2. *Void In Mineral Agregat* (VMA)
3. *Flow*
4. Stabilitas
5. *Marshall Quotient* (MQ)

#### 4.2.1 Hasil Pengujian *Void In Mixture* (VIM)

Hasil pengujian VIM dapat dilihat pada Tabel 4.5, sebagai berikut :

**Tabel 4.5** Nilai VIM (%)

Kadar Aspal	Kadar Serabut Kelapa (%)		
	0,5	0,75	1
4%	19.69	15.17	17.89
	19.18	15.10	16.34
	19.14	16.41	16.16
5%	17.83	17.39	13.62
	16.47	16.98	23.45
	18.28	16.64	20.38
6%	15.95	14.59	14.48
	15.57	17.51	13.77
	16.27	14.65	11.67

Sumber : Hasil Penelitian

#### 4.2.2 Hasil Pengujian *Flow*

Hasil pengujian *Flow* dapat dilihat pada Tabel 4.6, sebagai berikut :

**Tabel 4.6** Nilai *Flow* (mm)

Kadar Aspal	Kadar Serabut Kelapa (%)		
	0,5	0,75	1
4%	4.1	2.2	2.8
	3.7	2.1	2.5
	1.6	2.6	2.5
5%	2.2	2.2	2.0
	3.0	2.2	2.7
	3.0	2.4	2.8
6%	3.3	2.1	2.1
	2.1	2.9	1.9
	2.0	2.5	2.5

Sumber : Hasil Penelitian

#### 4.2.3 Hasil Pengujian Stabilitas

Hasil pengujian Stabilitas dapat dilihat pada Tabel 4.7, sebagai berikut :

**Tabel 4.7** Nilai Stabilitas (kg)

Kadar Aspal	Kadar Serabut Kelapa (%)		
	0,5	0,75	1
4%	532.59	637.89	462.98
	682.81	662.76	488.81
	449.84	635.39	473.86
5%	510.82	727.82	339.94
	605.73	637.25	507.83
	536.41	520.33	358.11
6%	579.90	325.40	442.01
	494.41	338.96	519.87
	546.25	391.14	485.43

Sumber : Hasil Penelitian

#### 4.2.4 Hasil Pengujian Marshall Quotient (MQ)

Hasil pengujian Stabilitas dapat dilihat pada Tabel 4.8, sebagai berikut :

**Tabel 4.8** Nilai MQ (kg/mm)

Kadar Aspal	Kadar Serabut Kelapa (%)		
	0,5	0,75	1
4%	129.90	289.95	168.36
	184.54	323.30	199.51
	281.15	244.38	189.54
5%	232.19	330.83	169.97
	205.33	296.39	188.09
	181.83	216.80	127.90
6%	175.73	156.44	210.48
	235.44	116.88	273.62
	269.09	156.46	194.17

Sumber : Hasil Penelitian

#### 4.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dan Kadar Serabut Kelapa Optimum

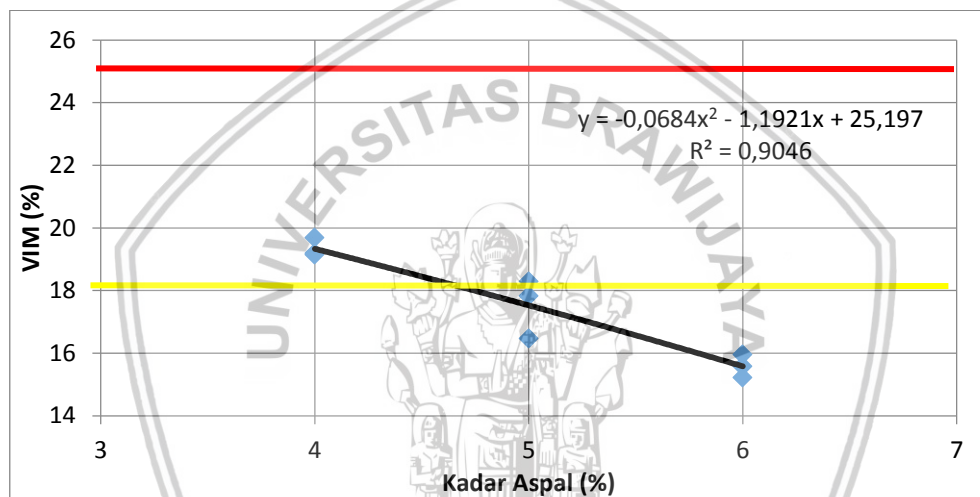
Dari hasil pengujian *Marshall* di atas telah diketahui nilai VIM, Stabilitas, *Flow* dan MQ dari campuran yang digunakan pada penelitian ini. Pada umumnya Kadar Aspal Optimum didapat dari nilai VMA, VIM, Stabilitas, *Flow*, dan MQ yang memenuhi syarat standar untuk campuran. Berdasarkan spesifikasi standar Australia tidak ada batasan

terhadap nilai VMA sehingga dalam menentukan besarnya Kadar Aspal Optimum hanya memperhitungkan nilai VIM, Stabilitas, *Flow*, dan MQ.

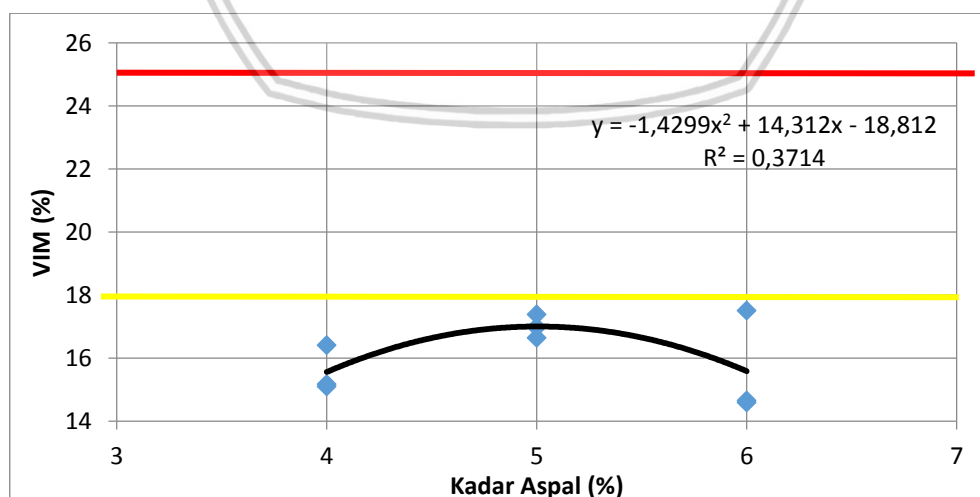
Batasan-batasan karakteristik *Marshall* yaitu nilai VIM antara 18%-25%, nilai *flow* antara 2-6 mm, nilai stabilitas minimal 500 kg dan nilai MQ maksimum 400 kg/mm. Penentuan kadar aspal optimum ditentukan dengan grafik pita, grafik 3D dan metode respon permukaan.

#### A. Metode Grafik Pita

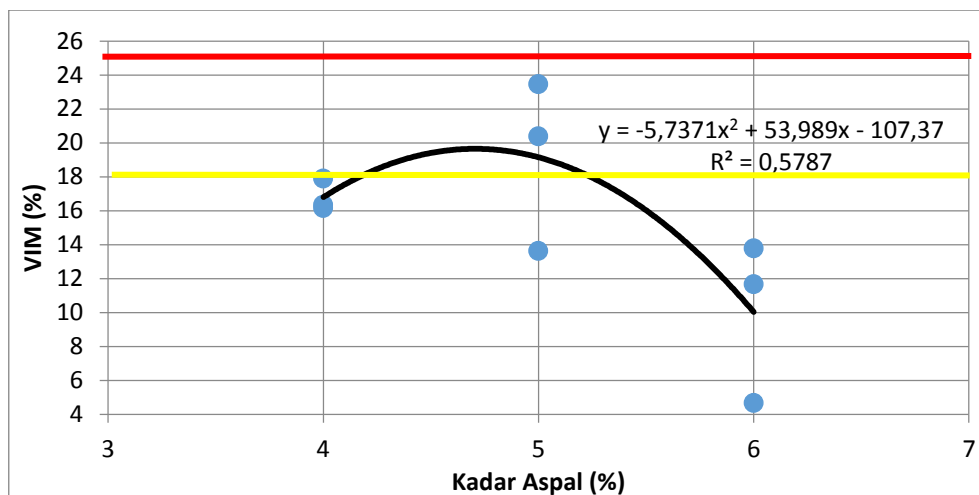
Dari hasil pengujian VIM benda uji digambarkan dalam bentuk grafik berdasarkan kadar aspal, seperti pada gambar 4.1 s/d 4.3 berikut :



**Gambar 4.1** Grafik Hubungan VIM pada Kadar Serabut Kelapa 0.5%

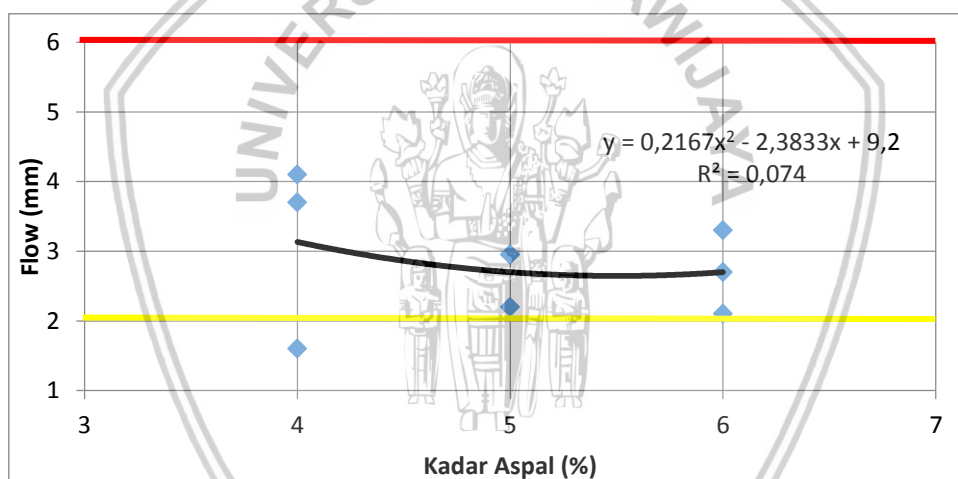


**Gambar 4.2** Grafik Hubungan VIM pada Kadar Serabut Kelapa 0.75%

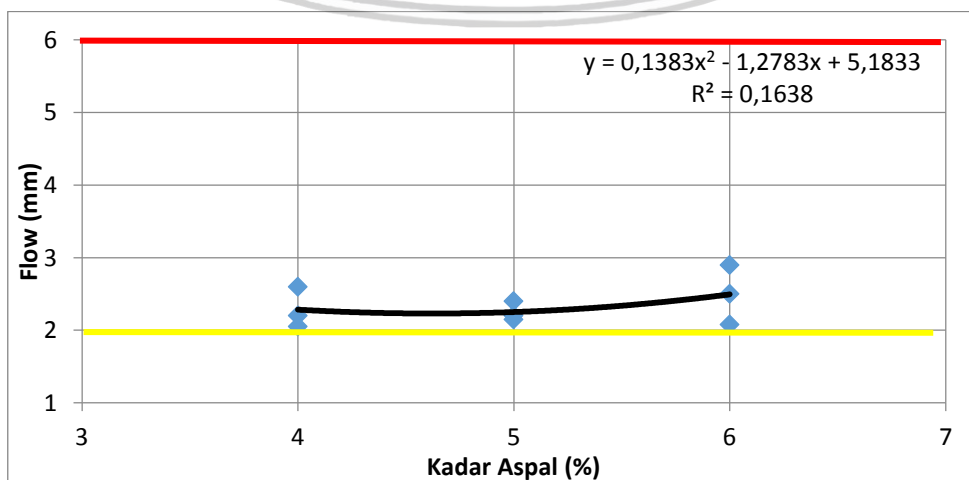


**Gambar 4.3** Grafik Hubungan VIM pada Kadar Serabut Kelapa 1%

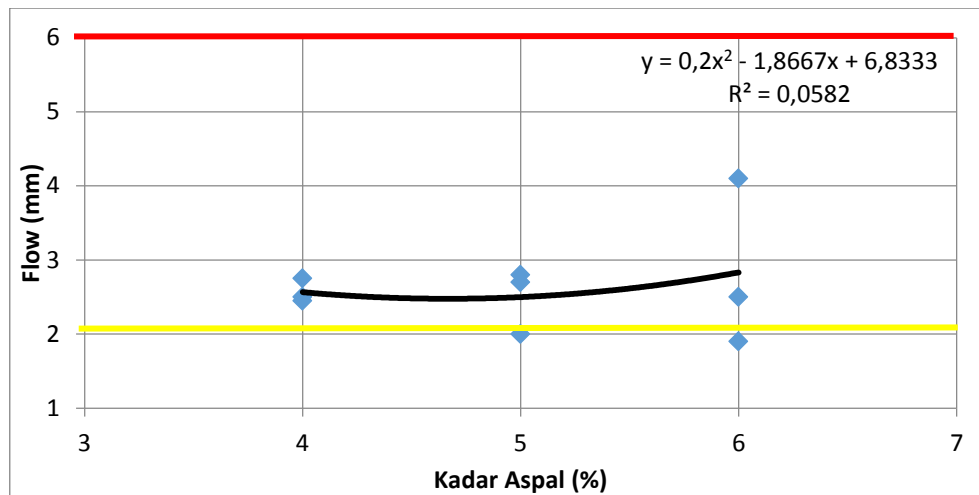
Dari hasil pengujian *flow* benda uji digambarkan dalam bentuk grafik berdasarkan kadar aspal, seperti pada gambar 4.4 s/d 4.6 berikut :



**Gambar 4.4** Grafik Hubungan Flow pada Kadar Serabut Kelapa 0.5%

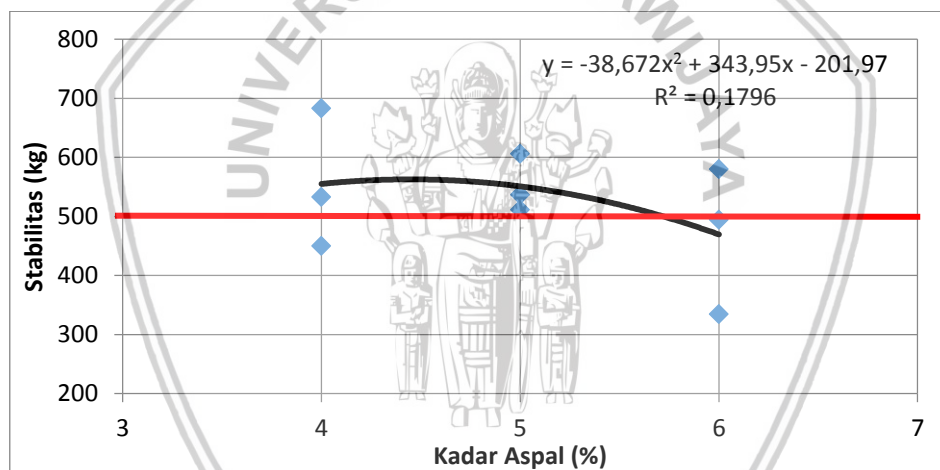


**Gambar 4.5** Grafik Hubungan Flow pada Kadar Serabut Kelapa 0.75%

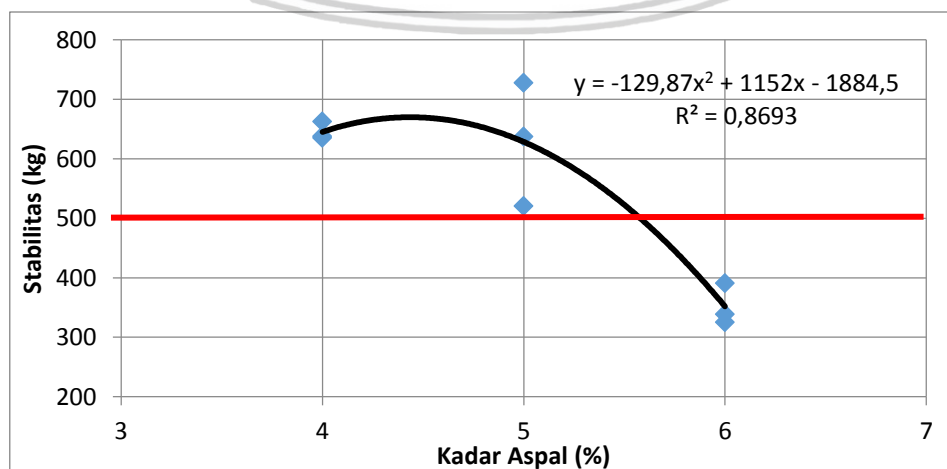


**Gambar 4.6** Grafik Hubungan Flow pada Kadar Serabut Kelapa 1%

Dari hasil pengujian stabilitas benda uji digambarkan dalam bentuk grafik berdasarkan kadar aspal, seperti pada gambar 4.7 s/d 4.9 berikut :

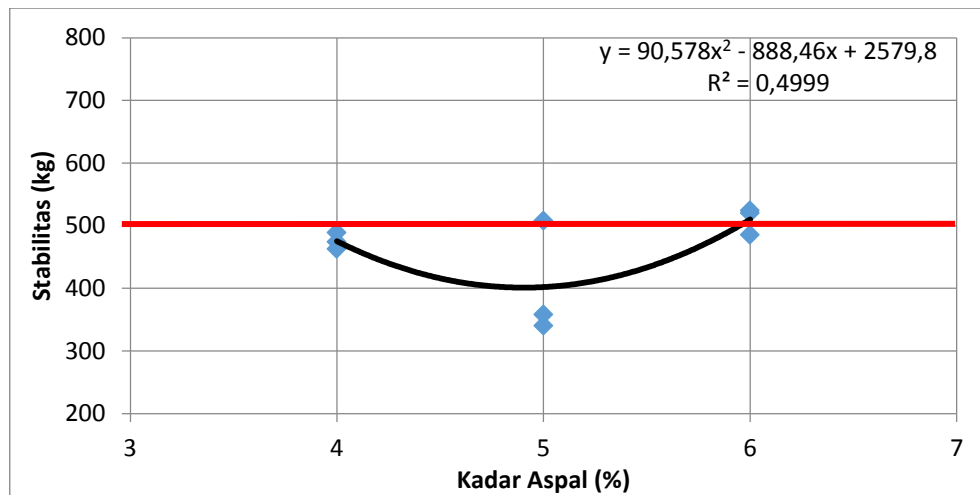


**Gambar 4.7** Grafik Hubungan Stabilitas pada Kadar Serabut Kelapa 0.5%



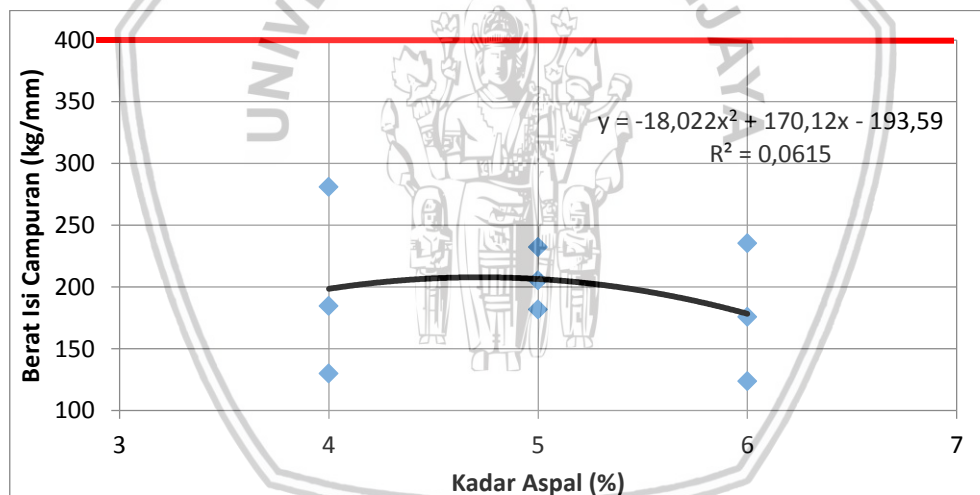
**Gambar 4.8** Grafik Hubungan Stabilitas pada Kadar Serabut Kelapa 0.75%



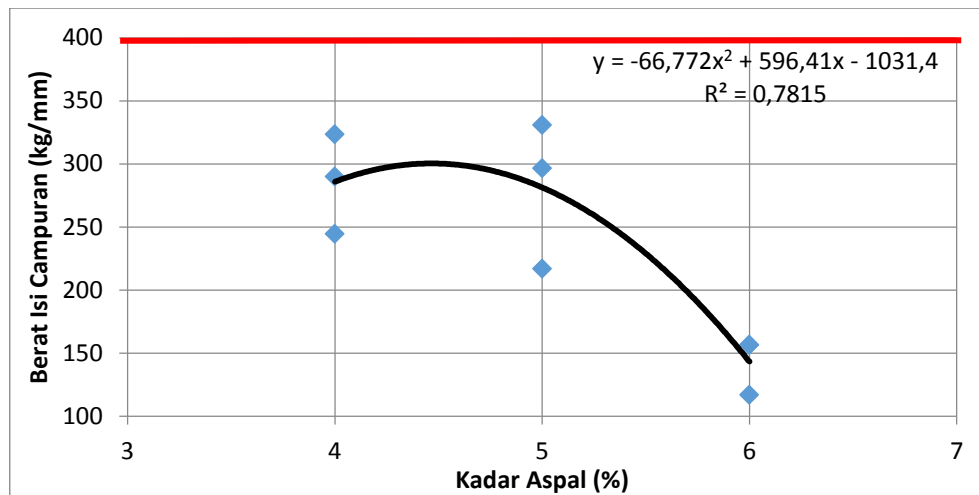


**Gambar 4.9** Grafik Hubungan Stabilitas pada Kadar Serabut Kelapa 1%

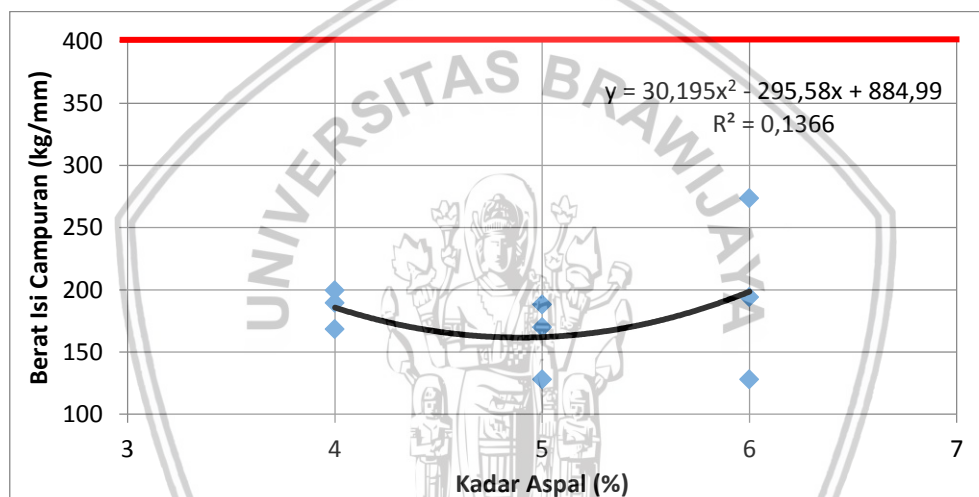
Dari hasil pengujian stabilitas benda uji digambarkan dalam bentuk grafik untuk masing-masing proporsi kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa, seperti pada gambar 4.10 s/d 4.12 berikut :



**Gambar 4.10** Grafik Hubungan MQ pada Kadar Serabut Kelapa 0.5%

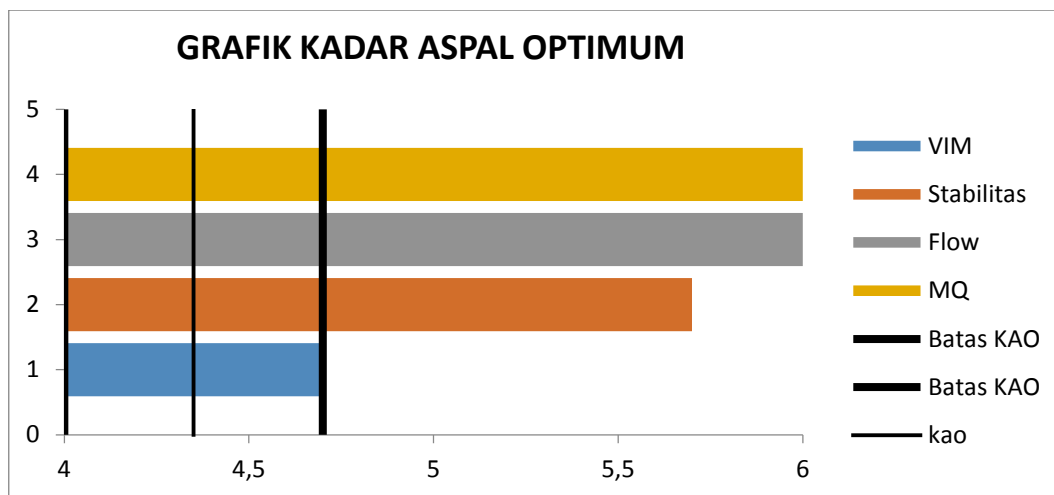


**Gambar 4.11** Grafik Hubungan MQ Kadar Serabut Kelapa 0.75%

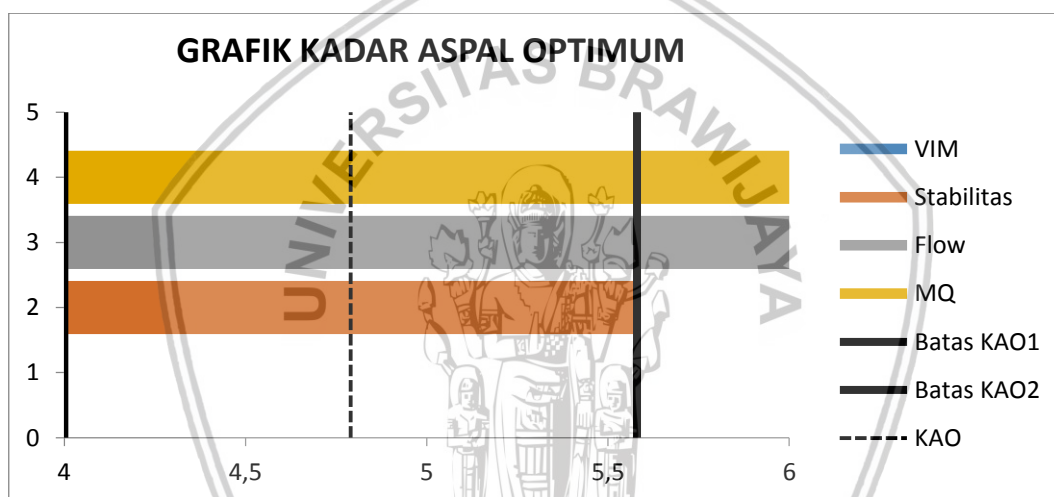


**Gambar 4.12** Grafik Hubungan MQ pada Kadar Serabut Kelapa 1%

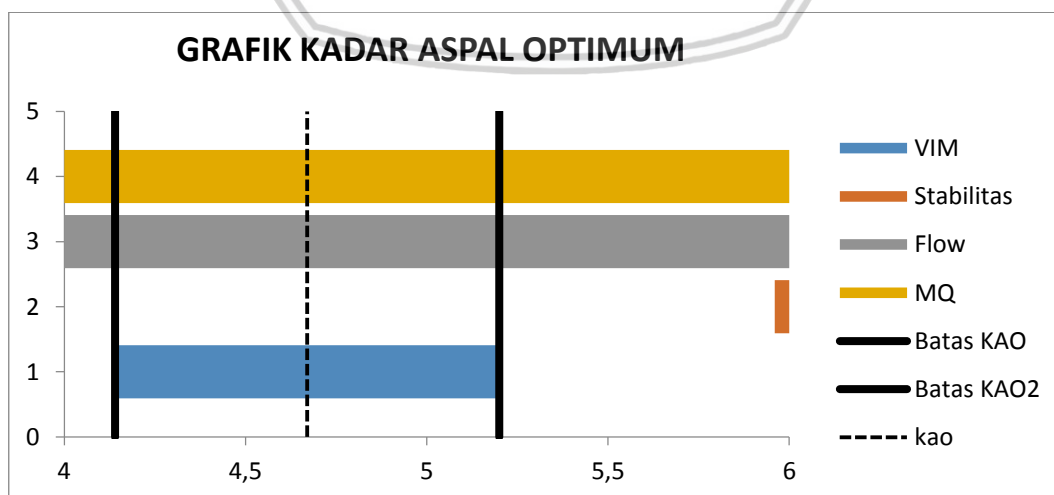
Berdasarkan grafik hubungan karakteristik *Marshall* terhadap kadar aspal pada gambar 4.1 s/d 4.12, dapat ditentukan persamaan regresi pada masing-masing grafik hubungan karakteristik. Untuk mendapatkan batas terhadap nilai kadar aspal dilakukan perhitungan secara matematis guna menentukan perpotongan kurva regresi terhadap nilai-nilai karakteristik *Marshall*. Dari batas-batas yang didapat, kemudian diplot ke dalam grafik pita pada Gambar 4.13. Grafik pita digambarkan seperti grafik bagan dengan sumbu horizontal sebagai kadar aspal. Berdasarkan grafik pita tersebut dapat ditentukan Kadar Aspal Optimum yang dicapai.



**Gambar 4.13** Grafik Pita pada kadar serabut kelapa 0,5 %



**Gambar 4.14** Grafik Pita pada kadar serabut kelapa 0,75 %



**Gambar 4.15** Grafik Pita pada kadar serabut kelapa 1 %

Untuk menentukan nilai kadar aspal optimum pada campuran maka dicarilah nilai tengah pada rentang kadar aspal yang memenuhi syarat. Didapatkan kadar aspal optimum dari campuran ini sebesar 4.35%. Dari persamaan polynomial grafik, dimasukkan batas-batas nilai yang ditentukan. Berdasarkan Kadar Aspal Optimum 4.35%, didapat hasil perhitungan sebagai berikut :

a. Perhitungan VIM

Dari grafik polynomial grafik hubungan VIM dengan kadar aspal didapat persamaan :

$$y = -0,0684x^2 - 1,1921x + 25,197$$

dengan Kadar Aspal Optimum, maka dimasukkan nilai  $x = 4.35$  pada persamaan tersebut sehingga didapatkan nilai VIM pada kadar aspal optimum sebesar

b. Perhitungan *Flow*

Dari grafik polynomial grafik hubungan *flow* dengan kadar aspal didapat persamaan :

$$y = 0,2167x^2 - 2,3833x - 9,2$$

dengan Kadar Aspal Optimum, maka dimasukkan nilai  $x = 4.35$  pada persamaan tersebut sehingga didapatkan nilai *flow* pada kadar aspal optimum sebesar

c. Perhitungan Stabilitas

Dari grafik polynomial grafik hubungan stabilitas dengan kadar aspal didapat persamaan :

$$y = -38,672x^2 + 343,95x + 201,97$$

dengan Kadar Aspal Optimum, maka dimasukkan nilai  $x = 4.35$  pada persamaan tersebut sehingga didapatkan nilai stabilitas pada kadar aspal optimum sebesar

d. Perhitungan MQ

Dari grafik polynomial grafik hubungan *flow* dengan kadar aspal didapat persamaan :

$$y = -18,022x^2 + 170,12x + 193,59$$

dengan Kadar Aspal Optimum, maka dimasukkan nilai  $x = 4.35$  pada persamaan tersebut sehingga didapatkan nilai *flow* pada kadar aspal optimum sebesar

**Tabel 4.9** Hasil Nilai Karakteristik *Marshall* Australia dengan KAO 4.35% dan Kadar Serabut Kelapa Optimum 0,5%

Karakteristik	Persyaratan Australia	KAO = 4.35 %	Keterangan
<b>VIM</b>	18% - 25%	18.85	Memenuhi
<b>Flow</b>	2 – 6 mm	2.96	Memenuhi
<b>Stabilitas</b>	>500 kg	580.53	Memenuhi
<b>MQ</b>	< 400 kg/mm	219.05	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

Dengan cara yang sama, grafik hubungan prosentase aspal dengan nilai *Marshall* pada kadar serabut kelapa dan panjang serabut kelapa lainnya dapat dilihat pada lampiran 3. Untuk penentuan kadar aspal optimum hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.10 sebagai berikut :

**Tabel 4.10** Rekap Hasil Karakteristik *Marshall*

Kadar Serabut Kelapa	Kadar Aspal Optimum	Karakteristik				Keterangan
		VIM	Flow	Stabilitas	MQ	
0.5	4.35	18.72	2.93	562.44	205.41	Memenuhi
0.75	4.79	16.93	2.23	669.23	293.28	Tidak Memenuhi
1	4.67	19.64	2.48	406.10	163.15	Tidak Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari rekap hasil pada tabel 4.10 dengan menggunakan metode grafik pita ditentukan bahwa Kadar Aspal Optimum 4.35% , kadar serabut kelapa 0.5% karena variasi tersebut memiliki nilai karakteristik terbaik diantara variasi yang lain.

#### B. Metode Grafik 3D

Metode ini menggunakan salah satu program pengolahan data statistik yang didapat dari hasil penelitian. Gambar 4.16 s/d 4.19 adalah hasil pengolahan data yang dihasilkan,

Design-Expert® Software

VIM

27.4575

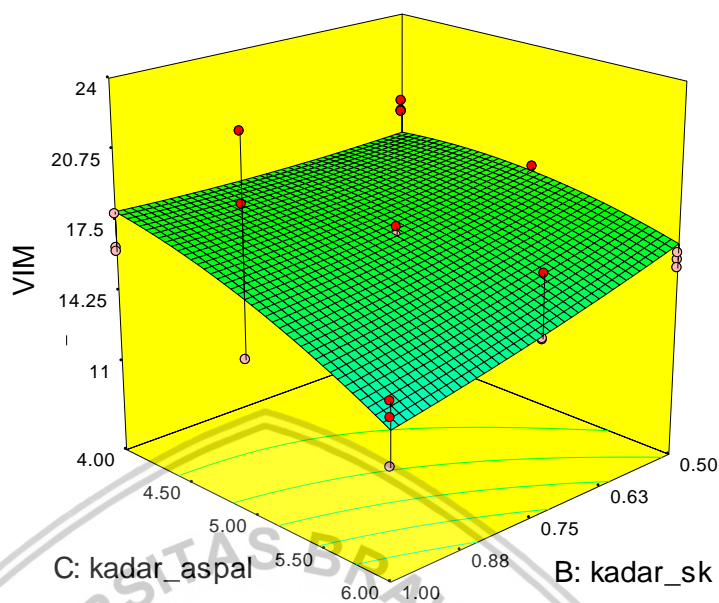
7.48053

X1 = B: kadar\_sk

X2 = C: kadar\_aspal

Actual Factor

A: panjang\_sk = 0.25



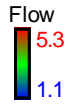
Gambar 4.16 Grafik 3D VIM

Tabel 4.11 Hasil Nilai VIM menggunakan Metode Grafik 3D

Kadar Aspal (%)	Kadar SK (%)	VIM (%)	AAPA
4	0,5	18,1267	Memenuhi
4	0,75	17,88432	Tidak Memenuhi
4	1	18,02439	Memenuhi
5	0,5	18,07345	Memenuhi
5	0,75	16,99562	Tidak Memenuhi
5	1	16,30024	Tidak Memenuhi
6	0,5	16,7152	Tidak Memenuhi
6	0,75	14,80192	Tidak Memenuhi
6	1	13,27109	Tidak Memenuhi

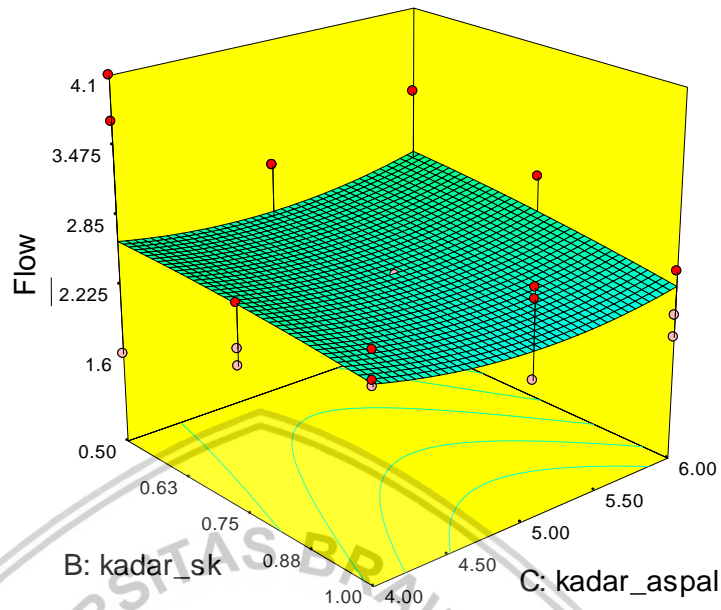


Design-Expert® Software



X1 = B: kadar\_sk  
X2 = C: kadar\_aspal

Actual Factor  
A: panjang\_sk = 0.25



Gambar 4.17 Grafik 3D Flow

Tabel 4.12 Hasil Nilai *Flow* menggunakan Metode Grafik 3D

Kadar Aspal (%)	Kadar SK (%)	Flow (mm)	AAPA
4	0,5	2,643175	Memenuhi
4	0,75	2,593219	Memenuhi
4	1	2,477338	Memenuhi
5	0,5	2,518475	Memenuhi
5	0,75	2,422419	Memenuhi
5	1	2,260438	Memenuhi
6	0,5	2,720175	Memenuhi
6	0,75	2,578019	Memenuhi
6	1	2,369938	Memenuhi

Design-Expert® Software

Stabilitas

730.982

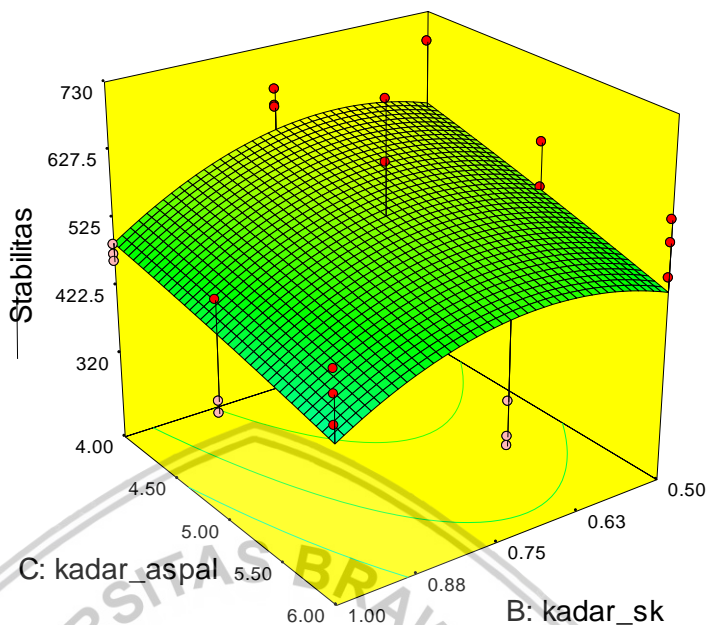
259.195

X1 = B: kadar\_sk

X2 = C: kadar\_aspal

Actual Factor

A: panjang\_sk = 0.25



Gambar 4.18 Grafik 3D Stabilitas

Tabel 4.13 Hasil Nilai Stabilitas menggunakan Metode Grafik 3D

Kadar Aspal (%)	Kadar SK (%)	Stabilitas (kg)	AAPA
4	0,5	585,5953	Memenuhi
4	0,75	602,1313	Memenuhi
4	1	491,8304	Tidak Memenuhi
5	0,5	533,6068	Memenuhi
5	0,75	559,3884	Memenuhi
5	1	458,3331	Tidak Memenuhi
6	0,5	474,1273	Tidak Memenuhi
6	0,75	509,1545	Memenuhi
6	1	417,3449	Tidak Memenuhi

Design-Expert® Software

MQ

477.24

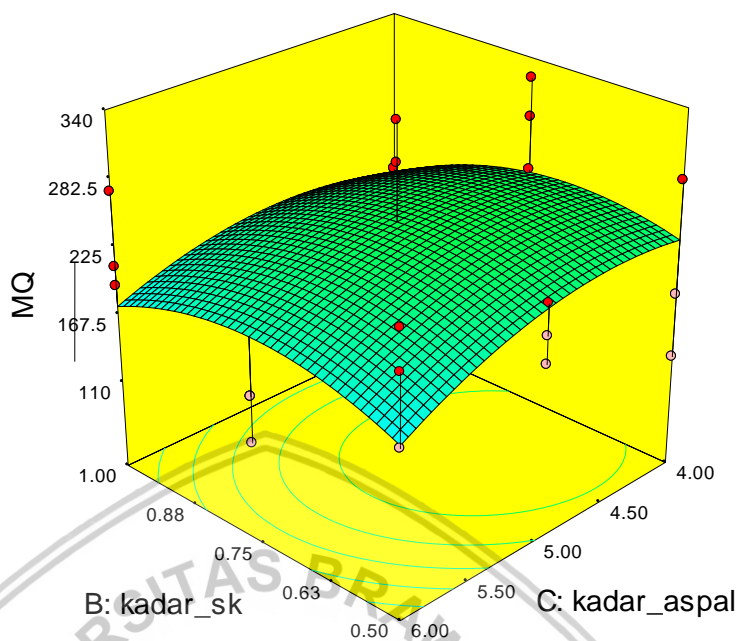
80.1347

X1 = B: kadar\_sk

X2 = C: kadar\_aspal

Actual Factor

A: panjang\_sk = 0.25



Gambar 4.19 Grafik 3D MQ

Tabel 4.14 Hasil Nilai MQ menggunakan Metode Grafik 3D

Kadar Aspal (%)	Kadar SK (%)	MQ	AAPA
4	0,5	231,4885	Memenuhi
4	0,75	242,099	Memenuhi
4	1	195,3128	Memenuhi
5	0,5	228,4884	Memenuhi
5	0,75	247,7392	Memenuhi
5	1	209,5934	Memenuhi
6	0,5	178,3663	Memenuhi
6	0,75	206,2574	Memenuhi
6	1	176,7519	Memenuhi

**Tabel 4.15** Rekapitulasi Hasil Iterasi Grafik 3D Karakteristik *Marshall*

Kadar Aspal (%)	Kadar SK (%)	Stabilitas (kg)	VIM (%)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	AAPA
4	0,5	585,60	18,13	2,64	231,49	Memenuhi
4	0,75	602,13	17,88	2,59	242,10	Tidak Memenuhi
4	1	491,83	18,02	2,48	195,31	Tidak Memenuhi
5	0,5	533,61	18,07	2,52	228,49	Memenuhi
5	0,75	559,39	17,00	2,42	247,74	Tidak Memenuhi
5	1	458,33	16,30	2,26	209,59	Tidak Memenuhi
6	0,5	474,13	16,72	2,72	178,37	Tidak Memenuhi
6	0,75	509,15	14,80	2,58	206,26	Tidak Memenuhi
6	1	417,34	13,27	2,37	176,75	Tidak Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari ketiga cara tersebut, maka rekapitulasi Kadar Aspal Optimum dapat dilihat pada Tabel 4.16 sebagai berikut :

**Tabel 4.16** Rekapitulasi Kadar Aspal Optimum dan Kadar Serabut Kelapa Optimum

Metode	Kadar Aspal Optimum	Kadar Serabut Kelapa Optimum	VIM (%)	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	MQ (kg/mm)
Grafik Pita	4.35%	0.5%	18.85	2.96	580.53	219.05
Grafik 3D	4%	0,5%	18,13	2,64	585,60	231,49

Sumber : Hasil Perhitungan

Setelah dilakukan dua cara untuk mendapatkan kadar aspal optimum dan kadar serabut kelapa optimum maka ditemukan ada penambahan nilai pada karakteristik *Marshall*. Dari kedua cara tersebut, metode grafik 3D memiliki nilai Stabilitas dan VIM tertinggi sehingga ditentukan bahwa kadar aspal optimum 4% dan kadar serabut kelapa optimum 0.5%.

#### 4.4 Analisa Statistik Pengaruh Serabut Kelapa Terhadap Campuran Aspal Porus

Berdasarkan data penelitian yang didapatkan, untuk mengetahui adanya pengaruh atau perbedaan dari variabel yang digunakan pada penelitian ini, maka dilakukan analisis statistik menggunakan analisis ANOVA dua arah.

ANOVA dua arah digunakan untuk menguji apakah campuran aspal porus yang menggunakan limbah beton sebagai pengganti batu pecah memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap nilai VIM, stabilitas, *flow*, MQ dan juga koefisien permeabilitas. Hipotesis yang digunakan dalam uji ini adalah sebagai berikut :

- a.  $H_{01}$ : Tidak terdapat pengaruh kadar aspal terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.  
 $H_{11}$ : Terdapat pengaruh kadar aspal terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.
- b.  $H_{02}$ : Tidak terdapat pengaruh kadar Serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.  
 $H_{12}$ : Terdapat pengaruh kadar Serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.
- c.  $H_{03}$ : Tidak terdapat pengaruh interaksi antara kadar aspal dan kadar Serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.  
 $H_{13}$ : Terdapat pengaruh interaksi antara kadar aspal dan kadar Serabut kelapa terhadap VIM, stabilitas, *flow* dan MQ.

Kriteria pengambilan keputusan :

Jika nilai  $p < \alpha$  (0.05) maka terima  $H_0$

Jika nilai  $p > \alpha$  (0.05) maka tolak  $H_0$

- a. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan pengaruh faktor-faktor yang digunakan terhadap nilai VIM maka digunakan analisis anova dua arah. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.24 sebagai berikut :

**Tabel 4.17** Uji Pengaruh Antar Parameter untuk VIM

### *Analysis of variance*

Variasi: VIM

Sumber Variasi	d.k	jumlah k.	rata-rata k.	v.r.	F pr.
Kadar Aspal	2	43.203	21.602	5.91	0.011
Kadar Serabut Kelapa	2	11.781	5.890	1.61	0.227
Kadar Aspal dan Kadar SK	4	30.218	7.555	2.07	0.128
Residual	18	65.842	3.658		
Total	26	151.044			

Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA pada tabel 4.17 dapat disimpulkan bahwa :

- Hipotesis pertama didapatkan nilai  $p$  sebesar 0.011 lebih kecil 0.05 ( $\alpha$ ), maka keputusan yang diambil adalah terima  $H_0$  yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada masing-masing kadar aspal.
- Hipotesis kedua didapatkan nilai  $p$  sebesar 0.227 lebih besar 0.05 ( $\alpha$ ), maka keputusan yang diambil adalah tolak  $H_0$  yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada masing-masing kadar serabut kelapa.
- Hipotesis ketiga didapatkan nilai  $p$  sebesar 0.003 lebih kecil 0.05 ( $\alpha$ ), maka keputusan yang diambil adalah terima  $H_0$  yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai VIM pada kadar aspal dan serabut kelapa.

Untuk mengetahui faktor pada taraf berapa yang menghasilkan nilai VIM yang berbeda, maka dilakukan pengujian lanjutan dengan menggunakan uji Duncan. Selain ketiga faktor yang diuji, bentuk interaksi antara ketiga faktor tersebut akan diuji.

**Tabel 4.18** Uji Duncan Kadar Aspal

Perlakuan	Rata-rata
6	14.94
4	17.23
5	17.89

Berdasarkan Tabel 4.18, kadar aspal yang menghasilkan nilai VIM tertinggi adalah ketika persentase kadar aspal sebesar 5% dimana kadar aspal 5% menghasilkan nilai VIM yang sama dengan kadar aspal 4%.

**Tabel 4.19** Uji Duncan Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata
0.75	16.05
1.00	16.42
0.50	17.60

Berdasarkan Tabel 4.19, kadar SK yang menghasilkan nilai VIM tertinggi adalah ketika persentase kadar SK sebesar 0.5% dimana kadar SK 0.5% sama untuk semua level.



**Tabel 4.20** Uji Duncan Interaksi Antara Kadar Aspal dengan Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata
6 1.00	13.30
4 0.75	15.56
6 0.75	15.59
6 0.50	15.93
4 1.00	16.80
5 0.75	17.00
5 0.50	17.53
5 1.00	19.15
4 0.50	19.33

Berdasarkan Tabel 4.20, interaksi antara kadar aspal 4% dan kadar SK 0.5% menghasilkan nilai VIM tertinggi. Namun kombinasi ini menghasilkan VIM yang dengan semua kombinasi kecuali kombinasi antara kadar aspal 6% dan kadar sk 1%, kadar aspal 4% dan kadar sk 0.75%, serta kadar aspal 6% dan kadar sk 0.75%.

- b. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan pengaruh faktor-faktor yang digunakan terhadap nilai Stabilitas maka digunakan analisis anova dua arah. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.21 sebagai berikut :

**Tabel 4.21** Uji Pengaruh Antar Parameter pada Stabilitas

### *Analysis of variance*

Variasi: Stabilitas

Sumber Variasi	d.k	jumlah k.	rata-rata k.	v.r.	F pr.
Kadar Aspal	2	47474.	23737.	5.26	0.016
Kadar Serabut Kelapa	2	51119.	25560.	5.66	0.012
Kadar Aspal dan Kadar SK	4	127734.	31934.	7.07	0.001
Residual	18	81297.	4517.		
Total	26	307625.			

- Hipotesis pertama didapatkan nilai  $p$  sebesar 0.016 lebih kecil 0.05 ( $\alpha$ ), maka keputusan yang diambil adalah terima  $H_0$  yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai stabilitas pada masing-masing kadar aspal.
- Hipotesis kedua didapatkan nilai  $p$  sebesar 0.012 lebih kecil 0.05 ( $\alpha$ ), maka keputusan yang diambil adalah terima  $H_0$  yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai stabilitas pada masing-masing kadar serabut kelapa.
- Hipotesis ketiga didapatkan nilai  $p$  sebesar 0.001 lebih kecil 0.05 ( $\alpha$ ), maka keputusan yang diambil adalah terima  $H_0$  yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai stabilitas pada kadar aspal dan kadar serabut kelapa.

Untuk mengetahui faktor pada taraf berapa yang menghasilkan nilai stabilitas yang berbeda, maka dilakukan pengujian lanjutan dengan menggunakan uji Duncan. Selain ketiga faktor yang diuji, bentuk interaksi antara ketiga faktor tersebut akan diuji.

**Tabel 4.22** Uji Duncan Kadar Aspal

Perlakuan	Rata-rata
6	458.2
5	527.1
4	558.5

Berdasarkan Tabel 4.22, kadar aspal yang menghasilkan nilai stabilitas tertinggi adalah ketika persentase kadar aspal sebesar 4% dimana kadar aspal 4% menghasilkan nilai stabilitas yang sama dengan kadar aspal 5%.

**Tabel 4.23** Uji Duncan Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata
1.00	453.2
0.75	541.9
0.50	548.8

Berdasarkan Tabel 4.23, kadar SK yang menghasilkan nilai stabilitas tertinggi adalah ketika persentase kadar SK sebesar 0.5% dimana kadar SK 0.5% menghasilkan nilai stabilitas yang sama dengan kadar aspal 0.75%..

**Tabel 4.24** Uji Duncan Interaksi Antara Kadar Aspal dengan Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata
6 0.75	351.8
5 1.00	402.0
4 1.00	475.2
6 1.00	482.4
6 0.50	540.2
5 0.50	551.0
4 0.50	555.1
5 0.75	628.5
4 0.75	645.3

Berdasarkan Tabel 4.24, interaksi antara kadar aspal 4% dan kadar SK 0.75% menghasilkan nilai stabilitas tertinggi. Namun kombinasi ini menghasilkan stabilitas yang sama dengan kombinasi antara kadar aspal 6% dan kadar sk 0.5%, kadar aspal 5% dan kadar sk 0.5%, kadar aspal 4% dan kadar sk 0.5%, serta kadar aspal 5% dan kadar sk 0.75%.

- c. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan pengaruh faktor-faktor yang digunakan terhadap nilai *flow* maka digunakan analisis anova dua arah. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.25 sebagai berikut :

**Tabel 4.25** Uji Pengaruh Antar Parameter untuk pada *Flow*

### *Analysis of variance*

Variasi: *Flow*

Sumber Variasi	d.k	jumlah k.	rata-rata k.	v.r.	F pr.
Kadar Aspal	2	0.3665	0.1832	0.54	0.594
Kadar Serabut Kelapa	2	0.9496	0.4748	1.39	0.275
Kadar Aspal dan Kadar SK	4	0.6824	0.1706	0.50	0.737
Residual	18	6.1522	0.3418		
Total	26	8.1507			.

- Hipotesis pertama didapatkan nilai  $p$  sebesar 0.594 lebih besar 0.05 ( $\alpha$ ), maka keputusan yang diambil adalah tolak  $H_0$  yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai *flow* pada masing-masing kadar aspal.
- Hipotesis kedua didapatkan nilai  $p$  sebesar 0.275 lebih besar 0.05 ( $\alpha$ ), maka keputusan yang diambil adalah tolak  $H_0$  yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai *flow* pada masing-masing kadar serabut kelapa.
- Hipotesis ketiga didapatkan nilai  $p$  sebesar 0.737 lebih besar 0.05 ( $\alpha$ ), maka keputusan yang diambil adalah tolak  $H_0$  yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai *flow* pada kadar aspal dan kadar serabut kelapa.

Untuk mengetahui faktor pada taraf berapa yang menghasilkan nilai *flow* yang berbeda, maka dilakukan pengujian lanjutan dengan menggunakan uji Duncan. Selain ketiga faktor yang diuji, bentuk interaksi antara ketiga faktor tersebut akan diuji.

**Tabel 4.26** Uji Duncan Kadar Aspal

Perlakuan	Rata-rata
6	2.379
5	2.483
4	2.661

Berdasarkan Tabel 4.26, kadar aspal yang menghasilkan nilai *flow* tertinggi adalah ketika persentase kadar aspal sebesar 4% dimana kadar aspal 4% menghasilkan nilai *flow* yang sama untuk semua level.

**Tabel 4.27** Uji Duncan Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata
0.75	2.342
1.00	2.411
0.50	2.770

Berdasarkan Tabel 4.27, kadar SK yang menghasilkan nilai *flow* tertinggi adalah ketika persentase kadar SK sebesar 0.5% dimana kadar SK 0.5% menghasilkan nilai *flow* yang sama untuk semua level.

**Tabel 4.28** Uji Duncan Interaksi Antara Kadar Aspal dengan Kadar SK

Perlakuan	Rata-rata
6 1.00	2.167
5 0.75	2.250
4 0.75	2.283
6 0.50	2.477
6 0.75	2.493
5 1.00	2.500
4 1.00	2.567
5 0.50	2.700
4 0.50	3.133

Berdasarkan Tabel 4.28, interaksi antara kadar aspal 4% dan kadar SK 0.5% menghasilkan nilai stabilitas tertinggi. Namun kombinasi ini menghasilkan flow yang sama dengan semua kombinasi

- d. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan pengaruh faktor-faktor yang digunakan terhadap nilai MQ maka digunakan analisis anova dua arah. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.29 sebagai berikut :

**Tabel 4.29** Uji Pengaruh Antar Parameter pada MQ

<i>Analysis of variance</i>					
Variasi: MQ					
Sumber Variasi	d.k	jumlah k.	rata-rata k.	v.r.	F pr.
Kadar Aspal	2	2930.	1465.	0.77	0.479
Kadar SK	2	9402.	4701.	2.46	0.114
Kadar Aspal dan Kadar SK	4	44066.	11017.	5.76	0.004
Residual	18	34430.	1913.		
Total	26	90829.			

- Hipotesis pertama didapatkan nilai  $p$  sebesar 0.479 lebih besar 0.05 ( $\alpha$ ), maka keputusan yang diambil adalah tolak  $H_0$  yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai MQ pada masing-masing kadar aspal.
- Hipotesis kedua didapatkan nilai  $p$  sebesar 0.114 lebih besar 0.05 ( $\alpha$ ), maka keputusan yang diambil adalah tolak  $H_0$  yang artinya tidak terdapat pengaruh rata-rata nilai MQ pada masing-masing kadar serabut kelapa.
- Hipotesis ketiga didapatkan nilai  $p$  sebesar 0.004 lebih kecil 0.05 ( $\alpha$ ), maka keputusan yang diambil adalah terima  $H_0$  yang artinya terdapat pengaruh rata-rata nilai MQ pada kadar aspal dan kadar serabut kelapa.

Untuk mengetahui faktor pada taraf berapa yang menghasilkan nilai MQ yang berbeda, maka dilakukan pengujian lanjutan dengan menggunakan uji Duncan. Selain ketiga faktor yang diuji, bentuk interaksi antara ketiga faktor tersebut akan diuji.

**Tabel 4.30** Uji Duncan Kadar Aspal

Perlakuan	Rata-rata
6	198.7
5	216.6
4	223.4

Berdasarkan Tabel 4.30, kadar aspal yang menghasilkan nilai MQ tertinggi adalah ketika persentase kadar aspal sebesar 4% dimana kadar aspal 4% menghasilkan nilai MQ yang sama untuk semua level.

**Tabel 4.31** Uji Duncan Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata
1.00	191.3
0.50	210.6
0.75	236.8

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.31, kadar SK yang menghasilkan nilai MQ tertinggi adalah ketika persentase kadar SK sebesar 0.75% dimana kadar SK 0.75% menghasilkan nilai MQ yang sama dengan kadar SK 0.5%



**Tabel 4.32** Uji Duncan Interaksi Antara Kadar Aspal dengan Kadar Serabut Kelapa

Perlakuan	Rata-rata
6 0.75	143.3
5 1.00	162.0
4 1.00	185.8
4 0.50	198.5
5 0.50	206.5
6 1.00	226.1
6 0.50	226.8
5 0.75	281.3
4 0.75	285.9

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 32, interaksi antara kadar aspal 4% dan kadar SK 0.75% menghasilkan nilai MQ tertinggi. Namun kombinasi ini menghasilkan nilai MQ yang sama dengan kombinasi antara kadar aspal 5% dan kadar sk 0.5%, kadar aspal 6% dan kadar sk 1%, kadar aspal 6% dan kadar sk 0.5%, serta kadar aspal 5% dan kadar sk 0.75%.

Dari analisis statistik yang telah dilakukan menggunakan ANOVA dua Arah maka didapat pengaruh maupun tidak pengaruh dari nilai VIM, *flow*, stabilitas dan MQ dengan pembandingan kadar aspal dan kadar serabut kelapa. Bila memiliki pengaruh diberi tanda check (√), apabila tidak memiliki pengaruh diberi tanda (-). Hasil rekapitulasi ANOVA Dua Arah dapat dilihat pada Tabel 4.33 sebagai berikut :

**Tabel 4.33** Rekapitulasi Analisis Statistik ANOVA Dua Arah

Pembandingan	Variabel Tetap			
	VIM	Flow	Stabilitas	MQ
Kadar Aspal	√	-	√	-
Proporsi Kadar Serabut Kelapa	-	-	√	-
Interaksi Kadar Aspal dan Kadar Serabut Kelapa	√	-	√	√

Sumber : Hasil Rekapitulasi

Catatan:

1. Tanda centang (✓) artinya memiliki pengaruh terhadap karakteristik aspal porus.
2. Tanda strip (-) artinya tidak memiliki pengaruh terhadap karakteristik aspal porus.

#### 4.5 Pembahasan

Komposisi campuran antara agregat kasar dengan agregat halus untuk campuran aspal porus akan mempengaruhi karakteristik pada campuran aspal tersebut. Dikarenakan konsep dasar untuk campuran aspal porus yaitu meminimalisir penggunaan agregat halus yang menghasilkan rongga di dalam lapisan perkerasan tersebut untuk mengalirkan air diatas permukaan untuk jalan ke tanah. Penelitian ini menggunakan gradasi Australia, dimana di Indonesia belum memiliki aturan baku tentang standar-standar campuran perkerasan aspal porus.

Nilai-nilai karakteristik *Marshall* optimum yang didapatkan dari kadar aspal dan serabut kelapa optimum nantinya akan dibandingkan dengan nilai karaktersitik *Marshall* pada campuran aspal porus tanpa serabut kelapa. Berikut merupakan tabel rekapitulai nilai karakterstik *Marshall* pada kadar aspal dan kadar serabut kelapa optimum:

**Tabel 4.34** Rekapitulasi Hasil Karakteristik *Marshall*

Kadar Aspal	Kadar Serabut Kelapa	VIM	Stabilitas	Flow	MQ
4%	0,5%	18,13%	585,60 kg	2,64 mm	231,49 kg/mm
<b>Persyaratan AAPA</b>		18% - 25%	> 500 kg	2-6 mm	<400 kg/mm

##### 4.5.1 Pengaruh Serabut Kelapa Terhadap Nilai Karakteristik *Marshall*

###### a. Rongga udara dalam campuran (VIM)

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian nilai VIM memenuhi syarat yang ditetapkan AAPA. Nilai VIM mengalami penurunan sebesar 11,8% dari nilai awal 20,27% tanpa menggunakan serabut kelapa, menjadi 18,13 % dengan menggunakan serabut kelapa.

###### b. Stabilitas

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian Stabilitas mengalami peningkatan sebesar 51,576% dari nilai awal 388,32 kg tanpa menggunakan serabut kelapa, menjadi 585,6 kg dengan menggunakan serabut kelapa. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serabut kelapa mempengaruhi peningkatan nilai stabilitas. Standar

nilai stabilitas yang ditetapkan AAPA adalah minimal 500 kg. Penambahan serabut kelapa terbukti meningkatkan nilai stabilitas sehingga dapat memenuhi standar yang ditetapkan AAPA. Pengaruh peningkatan nilai stabilitas ini disebabkan oleh bentuknya yang berupa serat sehingga berfungsi sebagai pengikat untuk menghindari pemisahan antar agregat

c. Kelelehan (*Flow*)

*Flow* mengalami penurunan sebesar 22,73% dari nilai awal 3,24 mm tanpa menggunakan serabut kelapa, menjadi 2,64 mm dengan menggunakan serabut kelapa. Dalam standar AAPA nilai *flow* yang disyaratkan antara 2 mm – 6 mm. Sehingga hasil diatas masih masuk persyaratan yang ditetapkan AAPA.

d. *Marshall Quotient* (MQ)

MQ merupakan nilai perbandingan antara stabilitas dengan *flow*. MQ yang diperoleh dari penelitian mengalami peningkatan sebesar 105,66% dari nilai awal 112,56 kg/mm tanpa menggunakan serabut kelapa menjadi 231,49 kg/mm dengan serabut kelapa. Dalam AAPA standar untuk nilai MQ adalah dibawah 400 kg/mm. Sehingga hasil diatas memenuhi standar yang ditetapkan AAPA.

e. Kadar Aspal Optimum dan Kadar Serabut Kelapa Optimum

Dari analisis menggunakan metode respon permukaan diperoleh Kadar Aspal Optimum sebesar 4 % dan kadar serabut kelapa optimum 0,5% sebab nilai Stabilitas yang paling optimum terdapat pada kadar tersebut.

#### 4.6 Permeabilitas

Dalam penelitian ini selain dilakukan pengujian karakteristik *Marshall*, dilakukan pula uji kemampuan permeabilitas. Pengujian kemampuan permeabilitas ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan campuran aspal porus dalam mengalirkan air hujan kedalam tanah tanpa menyebabkan genangan pada permukaan perkerasan. Sesuai dengan filosofi aspal porus sendiri yaitu perkerasan yang mampu mengalirkan air ke tanah yang sangat cocok digunakan di daerah dengan curah hujan tinggi. Pengujian permeabilitas dalam penelitian ini menggunakan metode "*Falling Head*". Variabel yang mempengaruhi kecepatan permeabilitas antara lain tinggi benda uji, beda tekan aliran air, dan luas penampang.

Dari hasil penelitian didapatkan kecepatan infiltrasi semua benda uji memiliki nilai >0,1cm/detik yang merupakan persyaratan standar Australia dalam kecepatan infiltrasi pada aspal porus. Maka dapat dinyatakan hasil pengujian sudah memenuhi syarat tersebut.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Penggunaan serabut kelapa pada aspal porus standar Australia mempengaruhi karakteristik *Marshall* nilai *Marshall Quotient* (MQ), VIM dan Stabilitas seperti penjelasan di bawah ini :
  - Nilai MQ meningkat 105,66% dari nilai MQ benda uji tanpa menggunakan serabut kelapa sebesar 112,56 kg/mm menjadi 231,49 kg/mm setelah menggunakan serabut kelapa.
  - Nilai VIM menurun 11,8% dari nilai VIM benda uji tanpa menggunakan serabut kelapa sebesar 20,27% menjadi 18,13% setelah menggunakan serabut kelapa.
  - Penggunaan serabut kelapa dapat meningkatkan nilai stabilitas sebesar 51,576%. Dari nilai stabilitas benda uji sebesar 388,32 kg menjadi 585,6 kg setelah menggunakan serabut kelapa.

Berdasarkan hasil *ANOVA* dua arah, terdapat pengaruh interaksi dari kadar aspal, dan kadar serabut kelapa terhadap nilai Stabilitas, VIM dan *Marshall Quotient*, tetapi tidak berpengaruh terhadap nilai *flow*.

- b. Nilai proporsi campuran kadar aspal dan kadar serabut kelapa optimum adalah 4% aspal dan 0,5% kadar serabut kelapa.

#### 5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat disampaikan untuk lebih menyempurnakan penelitian ini antara lain :

1. Perlu dilakukan pengujian di lapangan untuk mendapatkan hasil yang realistis.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi material dengan standar gradasi lain, karena gradasi Australia ini masih banyak menggunakan agregat halus dan *filler* dalam komposisi campuran.
3. Perlu penelitian lebih lanjut dengan penggunaan material atau penambahan *additive* lain yang dapat meningkatkan stabilitas serta variasi kadar aspal yang lebih sedikit.
4. Perlu pemeriksaan alat yang digunakan agar benda uji yang dihasilkan lebih baik.

5. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi panjang serabut kelapa dikarenakan pada penelitian ini hanya menggunakan satu variasi panjang saja.

